

생물다양성에 대한 기후변화의 영향과 그 대책

안지홍·임치홍·정성희·김아름·이창석**

서울여자대학교 대학원 생명환경공학과
*서울여자대학교 생명환경공학과

Effects of climate change on biodiversity and measures for them

An, Ji Hong·Chi Hong Lim·Song Hie Jung·A Reum Kim·Chang Seok Lee**

Dept. of Bio & Environmental Technology, Graduate School Seoul Women's University

*Dept. of Bio & Environmental Technology, Seoul Women's University

(Received: 18 August 2016, Revised: 09 November 2016, Accepted: 09 November 2016)

요약

본 연구에서는 지구적 차원에서 생물다양성의 성립 배경과 그동안 일어난 변화 그리고 기후변화가 생물다양성 및 인간에 미치는 영향을 밝히고 그 영향을 줄이기 위한 대안을 제시하였다. 생물다양성은 생명체의 풍부한 정도이며, 생물을 구분하는 모든 수준에서의 다양성을 종합적으로 의미한다. 즉, 생물다양성은 유전자, 종 그리고 생태계 전반과 그들의 상호작용을 아우른다. 이는 생태계의 기반을 구성하며, 모든 사람들이 필수적으로 의존하는 서비스를 제공한다. 그럼에도 불구하고 오늘날 생물다양성은 주로 인간 활동에 의해 점점 더 위협받고 있다. 지구상의 생물은 생명이 탄생한 이래 약 40억년의 역사를 통해 다양한 환경에 적응하고 진화한 결과, 약 1000만 내지 3000만종으로 추정되는 다양한 생물이 존재하게 되었다. 생물다양성을 구성하는 무수한 생명들은 각각의 고유한 특성을 가지고 있으며 다양한 관계 속에 얽혀 있다. 우리들이 현재 생활하고 있는 지구의 환경도 이러한 생물체의 방대한 연관성과 상호작용에 의해 긴 세월 동안 만들어져 왔으며, 인류도 하나의 생물로서 다른 생물들과 관계를 맺으며 살아가고 있다. 이러한 주위의 생물들이 없다면 사람도 살아갈 수 없다. 그러나 인류는 최근 수 백 년 간 과거의 평균 멸종속도를 1000배 가량이나 가속시켜 왔다. 우리는 미래 세대의 풍요로운 삶을 위해서라도 생물다양성을 보전하는 한편, 지속가능하게 이용할 책임이 있다. 우리나라는 세계 어느 국가보다도 빠른 경제 성장을 이루어왔으나, 동시에 이는 남북으로 길게 뻗은 반도 국가라는 지리적 특성에 의해 본래 풍부했던 생물다양성을 빠르게 소실시키는 결과를 야기하였다. 한국인은 오랫동안 농업, 임업 그리고 어업을 해오는 과정에서 자연과의 공존을 통해 독특한 고유의 문화를 창조하였다. 그러나 근래 서구문명의 유입과 과학 기술의 발전 과정에서 이러한 자연과의 관계는 멀어지게 되었으며, 자연과 문화 사이의 조화로운 조합에 의해 창출된 고유한 풍토는 점점 더 사라지고 있다. 한국의 인구는 세계 인구가 지속적으로 증가하는 것과는 반대로 점차 줄어들 것으로 예측되고 있다. 이 시점에서 우리는 인구 감소에 의한 자연의 회복에 발맞추어 급속한 인구 증가 및 경제 성장으로 인해 훼손된 생물다양성을 복원할 필요가 있다. 지구상에 생명이 탄생한 이래 다섯차례의 대멸종이 있었다. 현대의 대멸종은 매우 급속히 진행되고 있으며, 인간 활동에 의한 영향이 주요 원인인 점에서 이전의 것과 구분된다. 기후변화는 실제로 일어나고 있으며, 생물다양성은 이러한 변화에 매우 취약하다. 만약 생명체가 변화하는 환경에서 '진화를 통한 적응', '생존가능한 다른 지역으로의 이주' 등과 같은 생존 방법을 찾아내지 못한다면 이들은 절멸할 것이므로, 기후변화가 지속된다면 생물다양성은 극도로 훼손될 수 밖에 없다. 따라서 우리는 이러한 훼손정도를 최소화하기 위해 기후변화가 생물다양성에 미치는 영향을 보다 적극적으로 파악할 필요가 있다. 생물계절의 변화, 식생 이동을 비롯한 분포 범위의 변화, 생물 간 상호작용의 부조화, 먹이 사슬 이상에 기인한 번식 및 생장률 감소, 산호초 백화현상 등이 기후변화에 미치는 영향으로 등장하고 있다. 질병의 확산, 식량 생산 감소, 작물 경작지 범위 변화, 어장 및 어업시기의 변화 등은 인간에 대한 영향으로 나타나고 있다. 기후변화 문제를 해결하기 위해 우선, 우리는 온실 가스 배출량을 감소시켜 기후변화 완화를 시도할 필요가 있다. 그러나 현재 우리가 온실가스 배출을 당장 멈추더라도, 기후변화는 당분간 지속될 전망이다. 이런 점에서, 기후변화 적응 전략을 준비하는 것이 더 현실적이 될 수 있다. 생물다양성에 대한 기후변화 영향의 지속적 모니터링 및 보다 적합한 모니터링 체계 구축이 선행과제가 될 수 있다. 생물다양성이 성립할 수 있는 생태적 공간의 확보, 이동 보조 및 남북을 이어주는 수평 및 저지대와 고지대를 이어주는 수직적 생태네트워크가 기후변화에 따른 생물다양성의 적응을 돕는 대안으로 추천될 수 있다.

핵심용어 : 기후변화, 기후변화 적응, 생물다양성, 이동 보조, 인간 활동

* To whom correspondence should be addressed.
Dept. of Bio & Environmental Technology, Seoul Women's University
E-mail: leecs@swu.ac.kr

Abstract

In this study, formation background of biodiversity and its changes in the process of geologic history, and effects of climate change on biodiversity and human were discussed and the alternatives to reduce the effects of climate change were suggested. Biodiversity is 'the variety of life' and refers collectively to variation at all levels of biological organization. That is, biodiversity encompasses the genes, species and ecosystems and their interactions. It provides the basis for ecosystems and the services on which all people fundamentally depend. Nevertheless, today, biodiversity is increasingly threatened, usually as the result of human activity. Diverse organisms on earth, which are estimated as 10 to 30 million species, are the result of adaptation and evolution to various environments through long history of four billion years since the birth of life. Countlessly many organisms composing biodiversity have specific characteristics, respectively and are interrelated with each other through diverse relationship. Environment of the earth, on which we live, has also created for long years through extensive relationship and interaction of those organisms. We mankind also live through interrelationship with the other organisms as an organism. The man cannot live without the other organisms around him. Even though so, human beings accelerate mean extinction rate about 1,000 times compared with that of the past for recent several years. We have to conserve biodiversity for plentiful life of our future generation and are responsible for sustainable use of biodiversity. Korea has achieved faster economic growth than any other countries in the world. On the other hand, Korea had hold originally rich biodiversity as it is not only a peninsula country stretched lengthily from north to south but also three sides are surrounded by sea. But they disappeared increasingly in the process of fast economic growth. Korean people have created specific Korean culture by coexistence with nature through a long history of agriculture, forestry, and fishery. But in recent years, the relationship between Korean and nature became far in the processes of introduction of western culture and development of science and technology and specific natural feature born from harmonious combination between nature and culture disappears more and more. Population of Korea is expected to be reduced as contrasted with world population growing continuously. At this time, we need to restore biodiversity damaged in the processes of rapid population growth and economic development in concert with recovery of natural ecosystem due to population decrease. There were grand extinction events of five times since the birth of life on the earth. Modern extinction is very rapid and human activity is major causal factor. In these respects, it is distinguished from the past one. Climate change is real. Biodiversity is very vulnerable to climate change. If organisms did not find a survival method such as 'adaptation through evolution', 'movement to the other place where they can exist', and so on in the changed environment, they would extinct. In this respect, if climate change is continued, biodiversity should be damaged greatly. Furthermore, climate change would also influence on human life and socio-economic environment through change of biodiversity. Therefore, we need to grasp the effects that climate change influences on biodiversity more actively and further to prepare the alternatives to reduce the damage. Change of phenology, change of distribution range including vegetation shift, disharmony of interaction among organisms, reduction of reproduction and growth rates due to odd food chain, degradation of coral reef, and so on are emerged as the effects of climate change on biodiversity. Expansion of infectious disease, reduction of food production, change of cultivation range of crops, change of fishing ground and time, and so on appear as the effects on human. To solve climate change problem, first of all, we need to mitigate climate change by reducing discharge of warming gases. But even though we now stop discharge of warming gases, climate change is expected to be continued for the time being. In this respect, preparing adaptive strategy of climate change can be more realistic. Continuous monitoring to observe the effects of climate change on biodiversity and establishment of monitoring system have to be preceded over all others. Insurance of diverse ecological spaces where biodiversity can establish, assisted migration, and establishment of horizontal network from south to north and vertical one from lowland to upland ecological networks could be recommended as the alternatives to aid adaptation of biodiversity to the changing climate.

Key words : Climate change, Climate change adaptation, Biodiversity, Human activity, Assisted migration

1. 서 론

생물다양성은 모든 생명체의 풍부한 정도, 즉 생물의 종류가 얼마나 다양한 가를 의미한다 (CBD, 1992; Morrell, 1999). 그 종류는 생물을 구분하는 기본단위가 되는 종 (species)이 될 수도 있고, 같은 종에서 나타나는 차이를 식별할 수 있는 유전자 (gene) 또는 그 종들을 담고 있는 그릇인 생태계 (ecosystem)가 될 수도 있다 (Noss, 1990; Cardinale et al., 2012; Lim et al., 2016). 다양한 생태계가 존재할

때 다양한 종이 있을 수 있고, 다양한 종이 여러 환경에 자랄 때 유전자의 다양성이 높아져 높은 생물다양성을 갖추게 된다 (Naveh, 1994; ESK, 2013).

지구상의 생물은 생명이 탄생 한 이래 약 40억년의 역사를 통해 다양한 환경에 적응하고 진화한 결과 미지의 생물체를 포함하여 약 1000만 내지 3000만종으로 추정되는 다양한 생물이 존재하게 되었다 (Gaston and Spicer, 2004; ESK, 2013). 셀 수 없을 만큼 많은 생명들은 하나하나가 특징을 가지고 있으며 각각 그물과 같이 다양한 관계 속에

엮혀있는데 이것이 바로 생물다양성의 모습이라 할 수 있다 (Primack, 2008; ESK, 2013).

우리들이 현재 생활하고 있는 지구의 환경도 이러한 생물체의 방대한 연관성과 상호작용에 의해 긴 세월 동안 만들어져 왔다. 우리 인류도 하나의 생물로서 다른 생물들과 관계를 맺으며 살아가고 있다. 이러한 주위의 생물들이 없다면 사람도 살아갈 수 없다. 생물다양성이 제공하는 혜택이 있을 때 비로소 우리들도 살아갈 수 있는 것이다 (MEA, 2005; Lee et al., 2011a).

또한 우리들은 지역에 따라 다른 전통 지식이나 문화를 가지고 있다. 풍요로운 생활에 없어서는 안 될 다양한 문화는 각지의 다양한 생물다양성에 근거한 것으로서 지역의 고유 자산으로 필수불가결한 것이라고 볼 수 있다 (ESK, 2013).

인류는 최근 수 백 년 간 과거의 평균 멸종속도를 1000 배가량이나 가속시키고 있다 (Naem et al., 1999; Primack, 2008). 하지만 과학기술이 획기적으로 진보된 오늘날도 생명을 새로 만들어내는 것이 불가능한 것은 물론 생명체들 사이의 관계조차 알지 못하는 것들이 허다하다. 따라서 우리들의 생명은 지구상의 모든 생명들과 함께 공존하는 것이라는 사실을 겸허히 받아들이지 않으면 안 된다. 우리는 우리의 미래 세대가 풍요롭게 살아가기 위해서라도 생물다양성을 지키고 이것을 이용하는데 있어서 생물다양성에 큰 영향을 끼치지 않도록 지속가능한 방법을 사용할 책임이 있다 (CBD, 2010).

우리나라는 세계의 다른 어떤 나라보다 빠른 경제 성장을 이루어 왔다. 그러나 다른 한편에서 볼 때 우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸인 남북으로 긴 반도국가로서 본래 풍요로운 생물다양성을 갖추고 있었으나 빠른 경제성장의 과정에서 그들이 점점 사라져갔다. 그동안 우리는 경제 발전의 중요성은 인식하고 있었지만 풍부한 생물다양성이 삶의 질로 이어진다는 것은 잊고 지내왔다 (ESK, 2013).

우리나라 사람들은 농업이나 임업, 그리고 어업의 긴 역사를 통해 많은 생물, 풍부한 자연과 공존하며 우리나라 고유의 문화를 만들어 왔다. 하지만 최근 서구문명이 유입되고 과학기술이 발달하는 과정에서 한국인과 자연의 관계는 멀어져 각 지역의 자연과 문화가 결합된 특유의 풍토가 점점 사라지고 있다 (ESK, 2013).

세계의 인구가 지속적으로 증가하고 있는 것과 대조적으로 우리나라의 인구는 조만간 감소로 돌아설 것이라는 전망이 있다. 아울러 그것은 경제성장에 걸림돌이 될 것이라는 예측도 있다. 지금까지 인구가 증가하고 경제발전이 이루어지면서 우리나라의 경제발전은 눈부신 것이었으나 인구가 감소된다고 하더라도 경제발전은 지속되어야 하며 생물다양성 또한 풍부하게 유지하여야 한다. 특히 생물다양성은 인구가 증가하고 경제발전이 빠르게 진행되던 시기에 다양한 요인에 의해 손상되어 온 바 인구감소에 따른 자연생태계의 회복에 보조를 맞추어 훼손된 생물다양성을 회복시켜나갈 필요가 있다 (Lee, 2015).

앞으로 국가는 사람과 자연 사이에 보다 좋은 균형을 확보하여 사람과 자연의 공생을 통해 풍부한 생물다양성을 배양하는 ‘생물다양성이 풍성한 국가 만들기’를 목표로 생물다양성 보전과 그 구성요소의 지속가능한 이용을 추진할 필요가 있다 (ESK, 2013).

본 연구는 지구적 차원에서 생물다양성의 성립 배경과 그 동안 일어난 변화 그리고 기후변화가 생물다양성 및 인간에 미치는 영향을 밝히고 그 영향을 줄이기 위한 대안을 제시하는데 목적을 두고 있다.

2. 지구의 구성요소와 생명의 탄생

지구는 약 46억 년 전에 탄생하였고, 원시 바다 속의 유기물로부터 원시 생물체가 생겨난 것은 약 40억 년 전이라고 알려져 있다. 원시 지구의 대기에는 산소가 없었다고 하지만 광합성을 하는 남조류 (cyanobacteria) 등의 출현으로 대기 중에 산소가 늘어나기 시작하였다. 또한 산소를 중심으로 지구를 둘러싸는 오존층이 형성되어 태양으로부터 유해한 강한 자외선의 유입을 막아 현재의 대기를 구성하게 되었으며 안정된 기후가 유지되어 육상에도 생명이 존재할 수 있는 환경이 만들어졌다 (Oparin, 1924). 그리고 식물이 땅에 뿌리를 내리게 되어 숲을 만들었으며 동물도 이러한 환경 속에 더불어 살게 되어 육상 생태계가 형성되기 시작하였다. 수많은 생명과 그들이 얽혀 살아감에 따라 지구의 대기와 토양이 형성되고 다음 세대의 생명은 그 전 세대의 생명이 만들어 놓은 환경 위에서 진화를 반복해왔다 (Oparin, 1924).

이러한 과정에서 다양한 환경 변화가 일어나고 그 변화에 적응하지 못한 종이 사라짐과 동시에 또 다시 많은 종이 새로 생겨나 현재 약 1,000만 내지 3,000만종이나 되는 생명과 생태계가 형성되었다. 현재 우리 주변에 존재하는 생물다양성은 이처럼 지구의 긴 역사 속에서 만들어진 것으로서 아주 소중한 것이다 (Gaston and Spicer, 2004; Primack, 2008).

3. 대 멸종과 인간의 활동

지구상에 생명이 탄생한 이래 지금까지 생물이 대량으로 멸종된 대 멸종이 다섯차례 있었다 (Primack, 2008). 그러나 현대의 대 멸종은 멸종 속도가 빠르고 인간 활동에 의한 영향이 멸종의 주요 원인으로 이전의 것과 구별된다. 현대의 인류가 속해 있는 *Homo sapiens*라는 종은 40억 년이나 되는 생명의 역사와 비교해 볼 때 최근 약 30만 년 전에 탄생한 상당히 새로운 종으로, 하나의 종에 지나지 않지만 지구환경 전체를 바꿀 수 있을 정도의 커다란 영향력을 발휘해 왔다 (Lee and You, 2001).

인간은 과학기술을 발달시켜 큰 힘을 축적해 왔지만 현대에 있어서도 인간이 생물다양성을 구성하고 있는 하나의 생물종이라는 사실은 변함이 없다. 더구나 생물다양성의 세계는 상당히 복잡한 체계를 이루고 있어 아직 우리들이 알지

못하는 것들도 많다 (Gaston and Spicer, 2004; Primack, 2008; ESK, 2013).

생물다양성조약에서는 생물다양성을 모든 생물 사이에 차이가 있는 것으로 정의하고 생태계 다양성, 종간 다양성 및 종내 (유전자) 다양성이라는 세 개의 다양성이 있다고 보고 있다 (CBD, 2010). 생태계 다양성은 서해안의 갯벌, 염습지, 사구, 제주도의 산호초, 자연림, 이차림, 인공림 등의 산림, 습원, 크고 작은 하천 등 각지에 다양한 유형으로 존재한다 (ESK, 2013). 종의 다양성은 우리나라가 남북으로 길고 복잡한 지형을 가지고 있으며 풍부한 강수량과 사계절의 변화도 가지고 있어 다양한 동·식물이 생육하고 있는 상황을 의미한다. 유전자 다양성은 같은 소나무라도 경상북도 북부와 강원도의 것이 서부의 경사가 비교적 완만한 산지에 생육하는 소나무와 수형이 다른 것이나 조개의 껍질 모양이 지역에 따라 차이를 보이는 것을 의미한다 (Primack, 2008).

자연계의 다양한 수준은 각각 차이가 존재하고, 무엇보다 이것이 오랜 진화의 역사를 거쳐 이어져 내려온 결과로서 다양하고 균형 잡힌 생물다양성을 유지하는 것은 매우 중요하다 (Naveh, 1994). ‘생물다양성’은 ‘연관성’과 ‘개성’으로 설명할 수 있다. ‘연관성’에는 먹이사슬, 생태계의 얽힘 등 생물끼리의 연관성 또는 세대를 초월하는 생명의 연관성이 있고, 대한민국과 세계, 지역과 지역, 물의 순환 등을 통한 연관성도 있다. ‘개성’은 같은 종이라도 각 개체가 약간씩 차이를 가지고 있는 것과 각각 지역 특유의 자연이 있어 이것이 지역문화와 연결되어 지역 고유의 풍부도를 만들고 있는 것이다 (Sharma et al., 2006; Negi, 2012). ‘연관성’과 ‘개성’은 오랜 진화의 역사에 의해 만들어진 것으로 이러한 측면을 가진 ‘생물다양성’이 제공하는 다양한 혜택을 통해 지구상의 ‘생명’과 ‘삶’을 지탱해 주고 있다 (ESK, 2013).

4. 기후변화와 생물다양성

인위적 요인에 의한 기후변화와 그 영향, 적응 및 완화에 관한 과학적, 기술적, 사회경제적 측면에서 포괄적인 평가를 실시하는 기후변화 관련 정부 간 패널 (IPCC)의 제5차 평가 보고서 (2014)는 지구온난화가 실제로 진행되고 있고, 인간 활동에 의한 온실가스의 증가를 온난화의 주요 원인으로 지적하고 있다. 이 보고서에 따르면 20세기 후반의 북반구 평균기온은 과거 1300년 중 가장 고온이었을 가능성이 있다고 보고 있다. 과거 100년간 세계의 평균기온은 0.74°C 상승하였고 최근 50년간 평균기온의 상승 추세는 과거 100년간 상승속도의 약 2배에 달한다. 또한 금세기말의 지구 평균기온 상승은 환경보전과 경제 발전이 전 지구적으로 양립한다고 가정했을 경우 약 1.8배인 1.1~2.9°C로 예상되지만 화석연료에 계속 의존하면서 높은 경제 성장을 실현한다고 가정하면 약 4배인 2.4~6.4°C가 될 것이라는 예측이 나오고 있다 (IPCC, 2014).

생물다양성은 기후변화에 특히 취약하며 IPCC 보고서 (2014)에 따르면 전 지구의 평균 기온의 상승이 1.5~2.5°C를 넘을 경우 지금까지 평가대상에 포함되었던 동·식물 종의 약 20~30%가 멸종할 가능성이 크고, 4°C 이상의 상승이 이루어질 경우에는 전 지구에서 40% 이상의 종이 멸종으로 이어질 수 있다고 예측하고 있다.

변화된 환경에서 생물들은 ‘그 장소에서 진화를 통한 적응’, ‘생존할 수 있는 장소로의 이동’ 등의 방법을 찾지 못한다면 멸종하게 된다 (Blaustein and Bancroft, 2007; Bancroft et al., 2008; Blaustein et al., 2012; Wilson and Gutierrez, 2012). 지구온난화가 진행될 경우 생물이나 생태계에 어떤 영향이 발생할까를 정확하게 예측하는 것은 매우 어렵고, 또 그 방법에 관해 충분한 과학적 지식이 마련되어 있지 않지만 섬, 연안, 고산지대 등 환경의 변화에 취약한 지역을 중심으로 생물다양성에 심각한 영향을 줄 것은 자명한 일이다 (Hardy, 2003).

따라서 지구온난화가 생물다양성에 미치는 영향을 파악하여 그 피해를 최소화하고 나아가 적응하기 위한 대책을 마련할 필요가 있다 (Hardy, 2003; Chester et al., 2013; ESK, 2013).

5. 지구온난화가 생물다양성에 미치는 영향

지구온난화가 가속화됨에 따라 생태계의 교란 및 종의 멸종 등 생물다양성에도 심각한 영향이 우려되고 있다 (Hardy, 2003). 온도 변화에 의해 생물의 개화 및 결실 시기, 분포지역 등에 변화가 생길뿐만 아니라 변화 속도가 종과 분류군에 따라 다르기 때문에 포식, 곤충에 의한 수분, 새에 의한 종자산포 등 생물 간 상호관계에도 문제가 발생할 가능성이 높다 (Hardy, 2003; Kudo et al., 2004; Lee and Song, 2014). 유럽에서는 이미 새의 번식시기와 먹이인 곤충의 발생 시기가 어긋나 새의 번식 및 성장률 저하로 개체수가 감소하는 지역도 나왔다는 보고가 있다 (Both et al., 2009; Visser and Both, 2005; Visser and Holleman, 2001; Visser et al., 1998; 2003; 2004).

따라서 앞으로 지구온난화가 계속 진행된다면 많은 종의 멸종 위험이 높아질 것이라는 예측이 나오고 있다. 특히 산호초의 경우, 약 1~3°C의 해수면온도 상승이 일어날 경우 백화현상 및 광범위한 사멸이 빈번히 발생할 수 있다고 예측되고 있다 (Hardy, 2003; Buddemeier et al., 2004; Lee, 2015).

또한 온난화가 생물의 번식에 영향을 끼친다는 예도 보고되고 있다. 예를 들면 북극곰은 해빙 위에서 숨을 쉬기 위해 수면 밖으로 얼굴을 내미는 바다표범을 사냥하기 때문에 얼음으로 덮인 바다는 생존을 위해 중요한 조건이 된다. 하지만 캐나다의 핸더슨만에서 조사한 결과에 따르면 핸더슨만에 서식하는 북극곰은 암컷과 수컷이 모두 건강 악화로 체중이 감소하고 출산률도 감소된 것으로 확인되고 있다. 그 원인으로 1975년 이후 얼음이 녹는 속도가 빨라짐

에 따라 바다표범을 포획하는 시간이 길어져 충분한 영양을 섭취하지 못했을 가능성이 제기되고 있다. 이에 세계자연보전연맹(IUCN)은 2006년 북극곰을 멸종 위기 종으로 레드리스트에 기재하였다 (Greenemeier, 2008; Lee, 2015).

우리나라에서 지구온난화가 생물다양성에 미치는 영향은 아직 분명하게 밝혀지지 않았으나 지구온난화와 관련이 있다고 여겨지는 많은 사례들이 속속 나오고 있다. 봄의 전령인 뱃나무의 개화 시기는 최근 100년 만에 약 2주 정도 빨라진 것으로 나타나고 (Song and Lee, 2014), 새의 번식시기가 빨라지거나 (Lee et al., 2011) 열대나 아열대에 서식하는 곤충이나 새의 출현도 찾아지고 있다 (Kwon et al., 2014).

6. 지구온난화에 따른 생물다양성 변화가 인간생활에 미치는 영향

지구온난화는 생물다양성의 변화를 통해 인간생활 및 사회경제적 환경에도 큰 영향을 끼친다. 세계적으로는 잠재적인 식재료의 생산 가능 양이 지역의 평균기온보다 1~3°C 상승할 경우에는 증가한다고 예측되지만, 이 범위를 초과하여 상승할 경우에는 감소로 돌아서는 것으로 예측되고 있다 (Hardy, 2003). 또한 기후변화에 의해 가뭄과 열파 등의 극단적인 기상현상 증가로 곡물을 비롯하여 세계 식량에 미치게 될 엄청난 영향이 우려되고 있다 (Hardy, 2003).

대기 중 이산화탄소 농도의 증가와 함께 해수에 녹아드는 이산화탄소의 양도 증가되고 있다. 이에 따른 해수의 산성화로 인해 탄산칼슘을 성분으로 하는 산호의 골격과 패류의 껍데기를 만드는 석회화 작용이 일어나기 힘들어져 일정 범위를 넘어서서 산성화가 진행되면 골격과 껍질을 만들지 못하는 종이 나올 가능성이 있다. 해양의 생물다양성을 유지해 온 생물이 피해를 입게 된다면 해양의 생물다양성에 심각한 영향을 끼치게 되어 우리가 어업을 통해 얻을 수 있는 어획량이 감소될 우려가 있다 (Hardy, 2003). 어획대상종의 번식지역이 북상함에 따라 어장 및 어획시기에 변화가 생길 가능성도 있다 (Strickland et al., 1985; Hardy, 2003).

인체에 미치는 영향에 대해서는 온난화로 인해 바로 대규모 전염병이 발병하지는 않겠지만 온난화가 불러 낸 매개생물의 분산지역이 확대됨에 따라 전염병 발생위험이 높아질 가능성이 있다 (Hardy, 2003). 또한 학질모기 등 전염병을 옮기는 모기가 기온상승과 함께 개체 수 증가가 가속화되고 번식 지역이 북상하는 등 인간의 건강에도 영향을 끼칠 것으로 예측되고 있다 (Hardy, 2003).

식재료에 대해서는 기온상승으로 인해 벼에 미치는 영향이 클 것으로 예상되고 있다. 지구온난화로 인해 쌀의 수확량 및 품질이 저하될 우려가 있다. 뿐만 아니라 해충의 증가, 발생지역 및 시기의 변화 등이 일어나며 벼의 생육에도 영향을 미칠 우려가 있다. 과수에도 영향을 주어 현재의 재배지역이 북상하게 되어 현재 주 생산지의 대부분이 재배에

부적합하게 될 지도 모른다 (Saseendran et al., 2000; Yoshimoto et al., 2010; ESK, 2013).

7. 생물다양성의 관점에서 본 지구온난화 완화와 대응

기후변화는 이미 현실화되기 시작했으며 온실가스의 배출량과 자연의 흡수량 사이의 균형을 아무리 맞추려고 해도 이미 배출된 온실가스에 의해 머지않아 기후 변화의 위기에 처할 것은 분명해 보인다 (Hardy, 2003).

생물종 및 생태계는 과거에도 기후변화 등의 환경 변화를 경험하였으며 이러한 변화에 적응하며 진화를 이룩해 왔다 (Primack, 2008). 하지만 현재 일어나고 있는 온실가스의 인위적인 증가로 인한 급속한 기후 변화는 생물 종이나 생태계가 적응할 수 있는 속도를 훨씬 웃돌아 많은 종의 멸종을 포함하여 다양한 영향을 미치게 될 것이다 (Hardy, 2003; Primack, 2008).

따라서 지구온난화를 완화시킬 필요가 있다. 즉, 온실가스의 배출을 줄여 온난화의 영향을 줄이고 이러한 변화의 속도를 늦출 필요가 있다. 그렇게 함으로써 생물종 및 생태계가 적응하기 위한 시간을 벌 수 있게 되고 이것은 바로 생물다양성의 보전으로 이어지게 될 것이다 (Hardy, 2003).

많은 탄소를 식물 및 토양에 담고 있는 삼림의 쇠퇴 및 감소를 막고, 토양에 탄소를 저장하고 있는 습지를 보전하며 온실가스의 배출을 줄일 수 있는 농법을 개발하여 실시하는 것 등은 생물다양성의 보전 뿐 아니라 지구온난화의 완화라는 관점에서 볼 때도 매우 중요하다. 또한 삼림을 비롯하여 생태계의 적절한 관리에 의해 생기는 바이오매스를 화석연료의 대체에너지로 이용할 수 있는데 이것은 온실가스 배출 억제에 이바지한다. 또한 목재를 주택용 자재 등으로 이용하는 것은 장기적으로 보았을 때 탄소를 계속 저장해 두는 것이 된다. 이러한 생물다양성 보전과 지구온난화방지라는 두 가지 측면에서 모두 효과적인 시책을 단기적 효율성에 현혹되지 않도록 주의하면서 종합적인 관점을 가지고 추진해 나갈 필요가 있다 (Hardy, 2003; Ashton et al., 2012).

지구온난화의 완화대책뿐 아니라 지구온난화로 인해 예측되는 상황에 대비하기 위한 적응대책도 강구하지 않으면 안 된다. 예를 들어 섬 지역, 해안, 아고산지대 등 취약한 생태계를 가진 지역은 온난화의 진행에 보다 심각한 영향을 받을 우려가 있다. 또한 농업수산업 및 도시지역의 생물다양성에도 피해를 줄 수 있다. 다양한 종과 생태계가 온난화에 적응하고 생활사 및 분포지역 등을 변화시켜 나가는 데는 한계가 있다. 그렇기 때문에 온난화의 영향을 조금이라도 줄여가는 방법으로서의 생물다양성보전 대책을 온난화 대응책으로 검토할 필요가 있다 (Hardy, 2003).

한편, 지구온난화가 생물다양성에 미치는 영향을 파악하기 위해 계속적인 모니터링과 이를 위한 조사체계의 확립이 중요하다 (ESK, 2013). 그렇게 하여 파악된 영향과 앞으로 예측된 영향에 대응할 수 있도록 환경 변화에 대한 적

응력을 높이고, 각 지역 고유의 건전한 생태계의 보전, 복원을 추진해 나가야 한다. 그리고 각각의 종 및 생태계에 따라 온난화의 영향에 대한 취약성 및 적응력이 각기 다르기 때문에 다양한 종 및 생태계가 서서히 지구온난화에 적응하고 변화해 나갈 수 있도록 도와주는 것이 중요하다 (예를 들면, assisted migration: Hobbs et al., 2009; Vitt et al., 2009; 2010). 이를 위해 밝은 환경을 선호하는 종이 번식, 생육하는 범람원, 습원, 이차림 등의 환경을 포함하여 생물다양성의 바탕이 되는 다양한 생태적 공간을 확보하는 것이 중요하다. 특히 남북방향 및 산지 내 표고의 고저방향을 고려한 생태계 네트워크 형성 등의 대책을 강구해 나가야 한다 (ESK, 2013).

사 사

본 연구는 '2015년 서울여자대학교 교내 학술 지원 프로그램'의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Ashton MS, Tyrrell, ML, Spalding, D, Gentry B, (eds.). (2012). *Managing Forest Carbon in a Changing Climate*. Springer, New York.
- Bancroft, BA, Baker, NJ, Blaustein, AR (2007). Effects of UVB radiation in marine and freshwater organisms: a synthesis through meta-analysis. *Ecology Letters* 10, pp. 332-345.
- Bancroft, BA, Baker, NJ, Searle, CL, Garcia, TS, Blaustein AR (2008). Larval amphibians seek warm temperature and do not avoid harmful UVB radiation. *Behavioral Ecology* 19, pp. 879-886.
- Blaustein, AR, Bancroft, BA (2007). Amphibian population declines: evolutionary considerations. *Bioscience* 57, pp. 437-444.
- Blaustein, AR, Searle, C, Bancroft, BA, Lawler, J (2012). Amphibian population decline and climate change. In: E.A. Beever and J.L. Belant (eds.). *Ecological Consequences of Climate Change: Mechanisms, Conservation, and Management*. CRC Press, New York, pp. 29-53.
- Both, C, van Asch, M, Bijlsma, RG, van den Burg, AB, Visser, ME (2009). Climate change and unequal phenological changes across four trophic levels: constraints or adaptations? *Journal of Animal Ecology* 78, pp. 73-83.
- Buddemeier, RW, Kleypas, JA, Aronson, RB (2004). *Coral reefs Potential Contributions of Climate Change to Stresses on Coral Reef Ecosystems and Global climate*. Pew Center on Global Climate Change, Arlington, VA, pp. 55
- Cardinale, J, Duffy, E, Gonzalez, A, Naeem, S (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486, pp. 56-67.
- CBD (Convention on Biological Diversity) (1992). *Convention on Biological Diversity*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada.
- CBD (Convention on Biological Diversity) (2010). *Sustainable use of biodiversity*. www.cbd.int/sustainable.
- Chester, ET, Robson, BJ, Chambers, JM (2013). *Novel methods for managing freshwater refuges against climate change in southern Australia*. National Climate Change Adaptation Research Facility, Australia, pp. 98
- ESK(Ecological Society of Korea) (2013) *Master plan for managing Biodiversity center of Korea*. Ministry of Environment. Seoul. [Korean Literature]]
- Gaston, KJ, Spicer, JI (2004). *Biodiversity: An Introduction*, 2nd ed. Blackwell, Oxford.
- Greenemeier, L (2008). *U.S. Protects Polar Bears Under Endangered Species Act*. *Scientific American*, May 14, 2008.
- Hardy, JT (2003). *Climate change: causes, effects, and solutions*. Wiley, New York, pp. 260
- Hobbs, RJ, Higgs, E, Harris, JA (2009). Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. *Trends in Ecology and Evolution* 24(11), pp. 599-605.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Kudo, G, Nishikawa, Y, Kasagi, T, Kosuge, S (2004). Does seed production of spring ephemerals decrease when spring comes early? *Ecological Research* 19, pp. 255-259.
- Kwon, TS, Lee, CM, Kim, SS (2014). *Northward range shifts in Korean butterflies*. *Climatic Change* 126, pp. 163-174. DOI 0.1007/s10584-014-1212-2.
- Lee, CS (2015). *Role and task of restoration ecology in changing environment*. The National Academy of Sciences. pp. 481-527. [Korean Literature]
- Lee, CS, Rhyu, TC, Jeong E (2011a). A Consideration on IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) and Ecosystem Services as a Core Subject of the Organization. *Journal of Restoration Ecology* 2(1), pp. 73-78. [Korean Literature]]
- Lee, CS, You, YH (2001). *Landscape ecology and restoration of nature*. In: Research network for landscape ecology of Korea(ed.). Landscape Ecology. Donghwa Technology publishing Co. Seoul. pp. 359-383. [Korean Literature]]
- Lee, JK, Chung, OS, Lee, WS (2011b). Altitudinal Variation in Parental Provisioning of Nestling Varied Tits (*Poecile varius*). *The Wilson Journal of Ornithology*, 123(2), pp. 283-288.
- Lim CH, Kim, GS, An, JH, You, BH, Bae, YS, Byun, HG, Lee, CS (2016). Relationship between biodiversity and landscape structure in the Gyungan stream basin, central

- Korea. *Entomological Research*. doi: 10.1111/1748-5967.12172.
- MEA(Millennium Ecosystem Assessment) (2005). *Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report*. www.millenniumassessment.org.
- Morell, V (1999). The variety of life. *National Geographic* 195 (February), pp. 6-32.
- Naeem, S, Byers, D, Tjossem, SF, Bristow, C, Li, S (1999). Plant neighborhood diversity and production. *Ecoscience*, 6, pp. 355 - 365.
- Naveh, Z (1994). From Biodiversity to Ecodiversity: A Landscape-Ecology Approach to Conservation and Restoration. *Restoration Ecology* 2, pp. 180-189.
- Negi, CS (2012). Culture and biodiversity conservation: case studies from Uttarakhand, Central Himalaya. *Indian Journal of Traditional Knowledge* 11, pp. 273-278.
- Noss RF (1990) Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology* 4, pp. 355 - 364.
- Oparin, AI (1924). *The Origin of Life* (translated by Ann Synge). www.valencia.edu/~orilife.
- Primack, RB (2008). *A Primer of Conservation Biology*. Fourth ed. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, MA.
- Saseendran, SA, Singh, KK, Rathore, LS, Singh, SV, Sinha, SK (2000). Effects of climate change on rice production in the tropical humid climate of Kerala, India. *Climatic Change* 44, pp. 495 - 514.
- Sharma, KK, Jaiswal, AK, Kumar, KK (2006). Role of lac culture in biodiversity conservation: issues at stake and conservation strategy. *Current Science* 91, pp. 894-898.
- Song, HG, Lee, CS (2014). Diagnosis on climate change: *climate change based on the flowering response of cherry tree*. In: CS Lee (ed.). *Climate change and Ecology*. Series of Long Term Ecological Research 7, NIE, Seocheon. pp. 60-74.
- Strickland RM, Grosse, DJ, Stubin, AI, Ostrander, GK, Sibley, TH (1985). *Definition and characterization of data needs to describe the potential effects of increased atmospheric CO₂ on marine fisheries of the Northeast Pacific Ocean*. Virginia, U.S. Department of Energy, Office of Energy Research. DOE/NBB-075. TR028. NTIS Springfield, pp. 78
- Visser, ME, Both, C (2005). Shifts in phenology due to global climate change: the need for yardstick. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 272, pp. 2561 - 2560.
- Visser, ME, Holleman, LJM (2001). Warmer spring disrupt the synchrony of Oak and Winter Moth phenology. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 268, pp. 289 - 294.
- Visser, ME, van Noordwijk, AJ, Tinbergen, JM, Lessells, CM (1998). Warmer springs lead to mistimed reproduction in great tits (*Parus major*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 265, pp. 1867 - 1870.
- Visser, ME, Adriaansen, F, van Balen, JH, Blondel, J, Dhondt, AA, van Dongen, S, du Feau, C, Ivankina, EV, Kerimov, AB, De Laet, J, Matthysen, E, McCleery, RH, Orell, M, Thomson, DL (2003). Variable responses to large-scale climate change in European *Parus* populations. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 270, pp. 367 - 372.
- Visser, ME, Both, C, Lambrechts, MM (2004). Global climate change leads to mistimed avian reproduction. *Advances in Ecological Research* 35, pp. 89 - 110.
- Vitt, PK, Havens, AT, Kramer, D, Sollenberger, Yates, E (2009). Assisted migration of plants: Changes in latitudes, changes in attitudes. *Biol. Conserv.* doi:10.1016/j.biocon.2009.08.015.
- Vitt, P, Havens, K, Kramer, AT, Sollenberger, D, Yates, E (2010) Assisted migration of plants: Changes in latitudes, changes in attitude. *Biological Conservation* 143 (1), pp. 18-27.
- Wilson, RJ, Gutierrez, D (2012). *Effects of climate change on the elevational limits of species range*. In: E.A. Beever and J.L. Belant (eds.). *Ecological Consequences of Climate Change: Mechanisms, Conservation, and Management*. CRC Press, New York, pp. 107-131.
- Yoshimoto, M, Yokozawa, M, Iizumi, T, Okada, M, Nishimori, M, Masaki, Ishigooka, Y, Kuwagata, T, Kondo, M, Ishimaru, T, Fukuoka, M, and Hasegawa, T (2010). Projection of effects of climate change on rice yield and keys to reduce its uncertainties. *Crop, Environment and Bioinformatics* 7, pp. 260-268.