

Original article

## 생물다양성을 보존하기 위한 토대로서 생태다양성 분석 및 복원 전략

임봉순 · 김동욱 · 김아름 · 설재원 · 이창석<sup>1,\*</sup>

서울여자대학교 생명환경공학과 대학원, <sup>1</sup>서울여자대학교 생명환경공학과

**Analysis of Ecodiversity as the Foundation for Conserving Biodiversity and Its Restoration Strategy.** *Bong Soon Lim* (0000-0003-1724-6552), *Dong Uk Kim* (0000-0002-9170-0154), *A Reum Kim* (0000-0001-8637-3251), *Jae Won Seol* (0000-0002-0585-0181) and *Chang Seok Lee*<sup>1,\*</sup> (0000-0002-4288-4348) (*Department of Bio and Environmental Technology, Graduate School, Seoul Women's University; <sup>1</sup>Department of Bio and Environmental Technology, Seoul Women's University, 621, Hwarang-no, Nowon-gu, Seoul 01797, Republic of Korea*)

**Abstract** This study aims to establish the national strategy for biodiversity conservation by analyzing the current status of ecodiversity as the foundation of biodiversity conservation. Furthermore, this study has another purpose of preparing the measures for conservation and restoration of biodiversity. Ecodiversity was discussed as the basis for conserving biodiversity. Five climate zones and 14 climatic regions, eight plant geographic regions, three massifs and major geologic series, horizontal and vertical topographic conditions, 16 ecoregions, major ecosystems including forest, river and streams, wetlands, coast and marine, agriculture, and urban ecosystems, and land use types were discussed as the element of the ecodiversity. In terms of biodiversity conservation, the actual conditions of each ecological unit were reviewed and measures were proposed to reduce biodiversity loss. Destruction and fragmentation of habitat, poor ecosystem management due to socio-economic changes, the effects of exotic species and chemicals, and climate change were discussed as the major factors causing biodiversity loss. Systematic monitoring based on scientific principles and ecological restoration based on those monitoring results were recommended as measures for biodiversity conservation.

**Key words:** biodiversity, climate zone, ecological restoration, ecosystem diversity, geology, monitoring, topography

### 서 론

지구상의 생물은 탄생 이후 약 40억년의 역사를 통해 다양한 환경에 적응하고 진화한 결과, 아직 밝혀지지 않은 생물체를 포함하면 약 3000만종 가량 되는 것으로 추정되고 있다 (JME, 2012; Primack, 2012). 이러한 생명체들은

각기 다른 특징을 가지고 있으며, 그물과 같이 다양한 관계 속에 서로 얽혀 살아가는데 그것이 바로 생물다양성이다 (Gaston and Spicer, 2004; Sodhi and Ehrlich, 2010; JME, 2012; Primack, 2012; ESK, 2013).

다른 별과 비교해 지구의 온화한 환경은 이러한 생물들의 다양한 연관성과 상호작용을 통해 오랜 기간에 걸쳐 만들어져 왔다. 우리 인류도 하나의 생물로서 다른 생물들과 관계를 맺으며 살아가고 있다. 따라서 인류는 주위에 이러한 생물들이 없으면 살아갈 수 없고, 생물다양성이 제공하

Manuscript received 6 December 2020, revised 15 December 2020, revision accepted 16 December 2020  
\* Corresponding author: Tel: +82-2-970-5666, Fax: +82-2-970-5822  
E-mail: leecs@swu.ac.kr

는 다양한 혜택에 의존해 살아가고 있다(MEA, 2005; Lee *et al.*, 2011a).

이러한 생물다양성이 인간 활동의 영향으로 빠르게 소실되고 있다(Naeem *et al.*, 1999; JME, 2012; Primack, 2012). 인류는 최근 수백 년간 과거의 평균 멸종 속도를 1000배 가량이나 가속시키고 있다. 그러나 과학기술이 크게 발달한 오늘날도 생물다양성에 대해 밝혀지지 않은 것들이 매우 많다. 따라서 우리 인류는 지구상의 다른 모든 생명체들과 공존할 필요가 있고, 그것을 공유해야 할 미래 세대를 위해 생물다양성을 지키고, 그것을 이용할 때는 생물다양성에 큰 영향을 끼치지 않도록 지속가능한 방법을 사용할 필요가 있다(CBD, 2010; ESK, 2013).

인구 증가와 문명화의 진전으로 도시화 및 산업화 지역이 늘어나면서 자연생태계가 파괴되고 자연환경이 오염되어 왔다. 특히, 도시화 면적의 확대와 여러 가지 개발 사업으로 인해 주변의 자연자원을 훼손하고 고갈시키는 것은 물론 생태계를 근본적으로 파괴하는 결과를 초래하였다. 그 결과 이와 같이 변화된 환경에 적응하지 못한 종들이 멸종되었고, 현재 많은 종들이 절멸 위기에 처하면서 생물다양성 감소를 초래하고 있다(Sodhi and Ehrlich, 2010; Primack, 2012; ESK, 2013).

생물다양성 감소를 초래하는 요소로 다음과 같은 원인을 들 수 있다. 첫째, 인간의 개발행위가 직접적으로 초래하는 멸종 또는 생태계 파괴, 파편화 및 질 저하를 통한 번식 및 생육 공간의 축소와 소실, 둘째, 생활양식 및 산업구조의 변화, 인구감소 등 사회·경제적 변화에 수반되어 자연과 인간 사이의 관계 감소와 이로 인한 지역의 산림과 토지의 환경 변화, 종의 번식 및 생육 상태 변화, 셋째, 외래종 등 인위적으로 도입된 종에 의한 생태계의 교란이 그러한 원인에 해당한다(JME, 2012; ESK, 2013). 이에 더하여 기후변화의 진행이 생물다양성에 심각한 영향을 주고 있다. 기후변화는 많은 종의 멸종과 취약한 생태계의 붕괴 등 다양한 변화를 야기하는 것으로 알려져 있다. 생물다양성 감소를 가져오는 요인으로 기후변화는 피할 수 없는 심각한 문제이다(Sodhi and Ehrlich, 2010; Primack, 2012; ESK, 2013). 한편, 생물다양성의 의의와 가치에 대한 이해 부족으로 생물다양성 문제에 대한 관심이 부족하고, 다양한 연관성과 개성에 의해 만들어진 생물다양성의 상태가 충분히 파악되지 않아 과학적 지식에 근거한 평가와 대책을 수립하기 위한 기초 지식의 부족 또한 생물다양성 감소를 유발하는 요인으로 삼을 수 있다(JME, 2012). 자연 보존이나 복원과 같은 생물다양성 보전을 위한 움직임이 나타나기 시작했지만 아직 미약한 수준이며 생물다양성 위기에 대처하기 위해 분야를 초월한 노력은 여전히 충분히

이루어지지 못하고 있는 점 등도 위에 언급한 네 가지 위협요소를 더욱 심각하게 만들고 있다(JME, 2012).

생물다양성은 생태계를 이루는 토대가 되고, 모든 사람이 의존하는 생태계서비스의 기본이 된다(MEA, 2005). 생물다양성은 모든 생명체의 풍부한 정도, 즉 생물의 종류가 얼마나 다양한가를 의미한다(Gaston and Spicer, 2004; CBD, 2010; Sodhi and Ehrlich, 2010; Primack, 2012). 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; Chapin *et al.*, 2000; Bradley *et al.*, 2012; Primack, 2012). 하지만 종 수 - 면적 관계나 섬 생물지리이론(MacArthur, 1967)에 따르면 서식지 면적이 넓어 다양한 생태계가 존재할 때 다양한 종이 있을 수 있고, 다양한 종이 여러 환경에 자랄 때 유전자의 다양성이 높아져 높은 생물다양성을 갖추게 된다(Naveh, 1994). 그런 점에서 생태계다양성을 유지하고 생태계의 질을 높게 유지하는 것은 생물다양성 보존의 기본이 된다.

본 연구의 목적은 생물다양성 보존의 토대가 되는 생태적 다양성의 현황과 실태를 분석하고 그 보존 및 복원 방안을 제시하여 국가의 생물다양성 보존 전략을 수립하는데 있다.

## 재료 및 방법

생태계 다양성은 생태계 성립의 토대가 되는 기후, 토양, 지형 등 비생물 환경요인의 다양성을 우선 검토하고, 이러한 환경요인과 생물다양성의 조합으로 이루어낸 생물군계, 생물지리구, 생태지역 및 생태계 다양성을 검토하였다. 그런 다음 그 실태를 분석하여 문제점을 밝히고, 복원생태학 및 경관생태학의 원리를 적용하여 그 개선방안을 제시하여 생물다양성 보존 전략으로 제안하였다.

생태다양성은 환경부를 비롯한 정부 기관에서 구축한 자료를 활용하여 분석하였다(KIGAM, 2007; MOE, 2010, 2013; KFS, 2012, 2015; ESK, 2013; MOF, 2015, 2018, 2019; KLH, 2018; NKGII, 2020).

## 결 과

### 1. 기후다양성

한반도의 기후대는 난온대, 온대 남부, 온대 중부, 온대

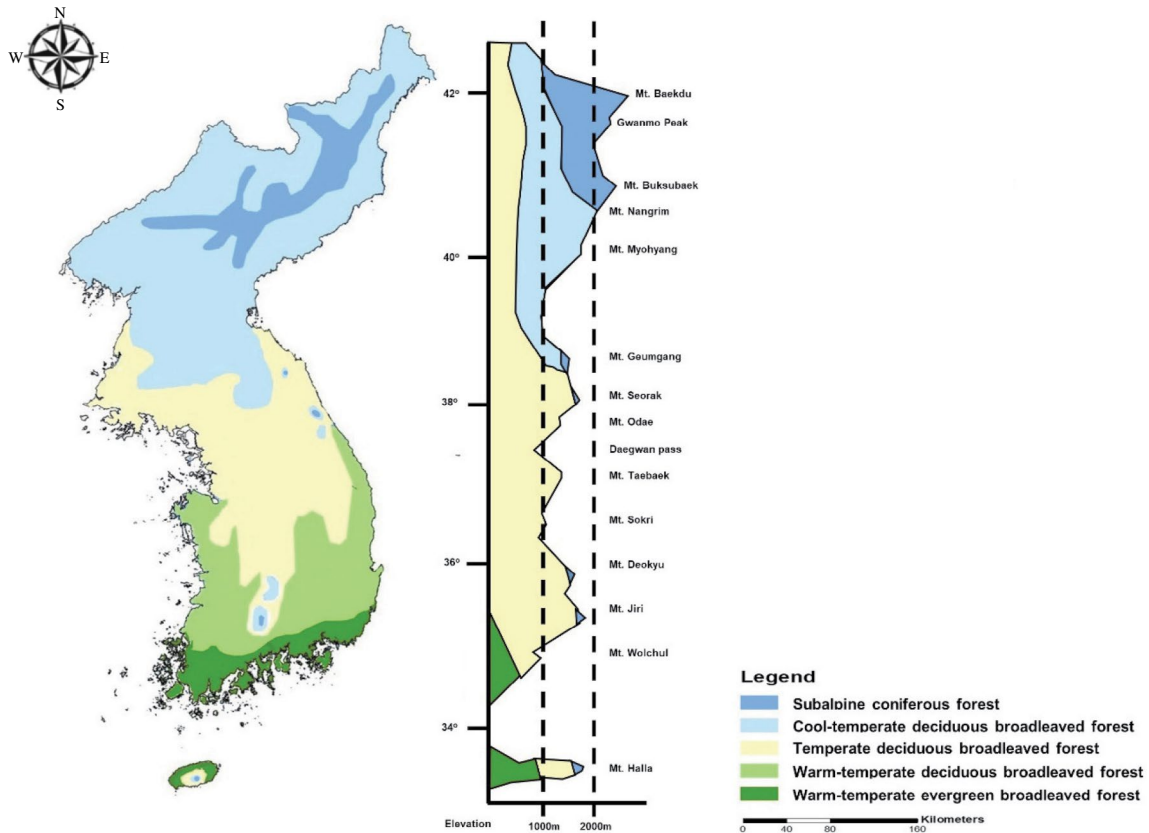


Fig. 1. A vegetation zone of the Korean Peninsula (Lee and Yim, 2002). Horizontal zone: left, vertical zone: right.

북부 및 아한대(아고산대)로 구분된다(Fig. 1, Yim, 1977). 난온대 기후대(상록활엽수림대)는 연평균기온 14°C 이상 되는 제주도의 저지대와 남해안의 여러 섬 및 북위 35° 이남의 해안지역으로서 구실잣밤나무 (*Castanopsis sieboldii* (Makino) Hatus.), 종가시나무 (*Quercus glauca* Thunb.), 붉가시나무 (*Quercus acuta* Thunb.), 후박나무 (*Machilus thunbergii* Siebold & Zucc.) 등 상록활엽수가 자생하는 지역에 성립되어 있다. 대표하는 생물군계 (biome)는 상록 활엽수림이다 (Lee and Yim, 2002). 온대 기후대는 연평균기온 5~14°C 범위에 걸쳐 있고, 난온대(온대 남부), 온대(온대 중부) 및 냉온대(온대 북부)로 세분한다. 대표하는 생물군계는 낙엽활엽수림이다. 온대낙엽활엽수림은 북위 35~43° 사이의 고산지대를 제외한 전 지역에 분포하며, 전체의 85% 정도를 차지하고 있다. 이 지역의 식생을 이루는 주요 식물은 신갈나무 (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), 졸참나무 (*Quercus serrata* Thunb. ex Murray), 굴참나무 (*Quercus variabilis* Blume), 떡갈나무 (*Quercus dentata* Thunb.), 상수리나무 (*Quercus acutissima* Carruth.) 등의 낙엽활엽수이다 (Lee and Yim, 2002). 온대 남부(난온

대)는 연평균기온이 13~14°C인 태안반도와 영일만을 잇는 선 이남 지역(북위 35~36° 사이, 동해안에서는 38°, 서해안에서는 37°30'까지)으로 구분된다. 대표하는 생물군계는 낙엽활엽수림이지만 하층에는 사스레피나무 (*Eurya japonica* Thunb.), 광나무 (*Ligustrum japonicum* Thunb.), 굴거리나무 (*Daphniphyllum macropodum* Miq.) 등 상록식물이 다수 출현한다 (Lee and Yim, 2002). 온대 중부는 연평균기온이 10~13°C인 장산곶에서 영흥만을 잇는 선 이남지역(동해안에서는 북위 40°, 서해안에서는 39°, 내륙에서는 38°30'까지)으로 구분된다. 대표하는 생물군계는 낙엽활엽수림이다 (Lee and Yim, 2002). 온대 북부(냉온대)는 연평균기온이 5~10°C인 지역으로 대표하는 생물군계는 낙엽활엽수와 침엽수 혼합림이다 (Lee and Yim, 2002). 아한대 기후대는 연평균기온이 5°C 이하이고 1월 평균기온이 -12°C 이하인 개마고원을 중심으로 한 북한산악지방과 한라산, 지리산, 설악산, 금강산 등의 아고산대에 걸쳐 있다. 대표하는 생물군계인 상록침엽수림은 가문비나무 (*Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière), 분비나무 (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.), 전나무 (*Abies*

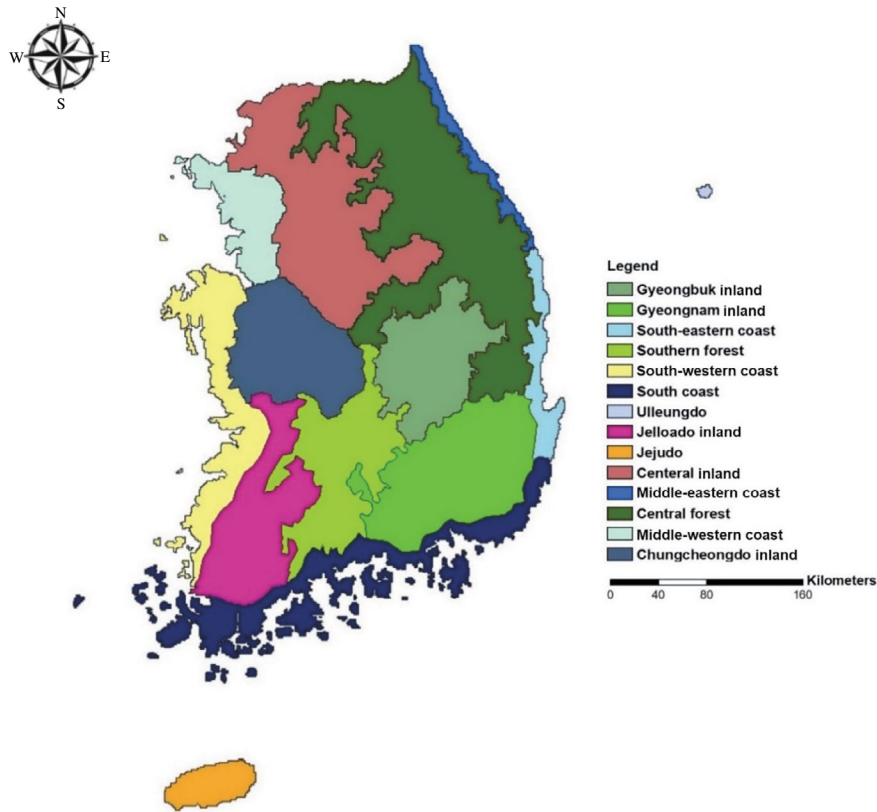


Fig. 2. A climatic region of Republic of Korea (Lee et al., 2005).

*holophylla* Maxim.) 등으로 이루어져 있다(Lee and Yim, 2002).

Lee et al. (2005)은 우리 나라의 기후지역을 식생과 작물의 분포를 이용하여 중부기후지역, 산지기후지역, 남부기후지역 그리고 남해안 및 도서 기후지역의 네 개 기후지역으로 구분하였다.

대나무의 북한계는 1월 평균 기온  $-3^{\circ}\text{C}$ 의 등치선과 일치하며 지형적으로 차령산맥과 일치하는 것으로 알려져 대나무의 분포 한계를 이용하여 남부와 중부 기후지역을 구분하였다. 대나무 재배 한계 이남 지역은 상록활엽수림의 분포 한계 및 월동배추 재배 한계를 기후 지역 구분에 적용하여 그 한계 남쪽을 제주도 포함하는 남해안 및 도서 기후지역으로 그리고 그 북쪽을 남부 기후지역으로 구분하였다(Lee et al., 2005).

중부 기후지역은 대나무 북한계선 이북 지역에 해당한다. 동해안 지역에서는 해안선의 방향이 북서 방향에서 남동 방향으로 바뀌는 울진 지역의 응봉산(999 m)을 경계로 구분된다(Lee et al., 2005).

남부 기후지역은 대나무 북한계선과 상록활엽수림의 북한계선 사이의 지역이다. 남해안 및 도서 기후지역은 남해

안을 따라서 발달한 해안 산지로 남부 기후지역과 경계를 이루며 제주도와 울릉도 등이 포함된다. 이 지역에는 상록 활엽수림이 분포하며, 월동배추를 비롯해 겨울철에 작물 재배가 가능하다(Lee et al., 2005).

산지 기후지역에는 주로 태백산지와 소백산지가 해당된다. 산지 기후지역에서는 고랭지 농업을 행하거나 임업이 발달하였으며, 조생종 벼가 재배된다. 해발고도가 높은 산지는 저지대와 다른 생활을 한다. 오늘날 산지는 휴양의 공간이며 고랭지 농업, 임업 등 생산의 공간으로서 다양하게 이용되고 있다. 우리나라 도시는 제천과 태백을 제외하고 모두 해발 200 m 이하에 위치한다. 제천은 해발 200 m와 300 m의 사이에 위치하며, 태백은 해발 700 m에 가까운 고도에 위치한다. 태백은 주변 산지를 이용한 고랭지 채소 재배와 고원 피서 관광을 활용하고 있으나, 제천에서는 산지기후를 활용하는 사례를 찾아보기 어렵다. 이런 점에서 제천은 해발 200 m 이상의 고도에 위치하지만 산지 기후지역으로 분류하기에는 적절하지 않다. 이러한 사실을 고려하여 산지기후를 구분하는 기준을 해발 300 m로 정하였는데, 이는 조생종 벼가 분포하는 고도와 거의 일치한다(Lee et al., 2005).

나아가 Lee *et al.* (2005)은 식생, 작물, 가옥의 분포 및 지리적 특성을 고려하여 이를 14개 기후 지역으로 세분하였다(Fig. 2).

중부 기후지역은 중부서안 기후지역, 중부내륙 기후지역 및 중부동안 기후지역으로 구분하였고, 남부 기후지역은 남부서안 기후지역, 남부내륙 기후지역(충청내륙 기후지역, 전라내륙 기후지역, 경북내륙 기후지역, 경남내륙 기후지역) 및 남부동안 기후지역으로 구분하였다. 남해안 및 도서 기후지역은 남해안 기후지역, 제주도 기후지역 및 울릉도 기후지역으로 구분하였으며, 산지 기후지역은 중부산지 기후지역과 남부산지 기후지역으로 구분하였다(Lee *et al.*, 2005, Fig. 2).

중부 기후지역은 최한월인 1월 평균 기온  $-3^{\circ}\text{C}$  등치선에 의하여 중부서안 기후지역과 중부내륙 기후지역으로 구분하였다. 이 선은 쾨펜의 기후 구분에서 C기후와 D기후의 경계로 사용된 것으로, 겨울철에 지표면의 동결 기준이 되기도 한다. 중부서안 기후지역과 중부내륙 기후지역에서는 중·만생종 벼 재배에 토대를 두고 주변의 산지 기후지역과 구분하였다. 이에 더하여 홑집형 가옥 구조가 전 지역에서 나타나고 잇는 것도 근거로 삼았다(Lee *et al.*, 2005).

남부서안 기후지역과 남부서부내륙 기후지역의 경계는 충청남도에서는 차령산맥 및 ‘口’자 형의 폐쇄적인 가옥 구조에 의해, 전라남·북도에서는 송악(*Hedera rhombica* (Miq.) Siebold & Zucc. ex Bean)의 분포에 의하여 구분하였다. 남부서부내륙 기후지역과 남부동부내륙 기후지역은 그 사이의 소백산지에 의하여 구분하였다. 남부동부내륙 기후지역과 남부동안 기후지역은 태백산맥과 송악의 분포에 의하여 구분하였다. 남부서부내륙 기후지역과 남부동부내륙 기후지역은 마늘의 품종별 경계에 의해 각각 충청내륙 기후지역과 전라내륙 기후지역, 경북내륙 기후지역과 경남내륙 기후지역으로 구분하였다(Lee *et al.*, 2005).

산지 기후지역에는 주로 태백산지와 소백산지가 포함된다. 해발 고도 300 m 등고선을 이어보면 대체로 추풍령을 경계로 두 산지가 구분된다. 따라서 추풍령 이북을 중부산지 기후지역, 그 남쪽을 남부 산지 기후지역으로 구분하였다(Lee *et al.*, 2005).

## 2. 식물지리구 다양성

한반도는 북부고산지역, 남북아고산지역, 중부산악지역, 남부산악지역, 중서부도서지역, 남부도서지역, 서·남·동해도서와 연관내륙지역 및 남북격리지역으로 총 8개 식물지리구로 구분된다(Lee and Yim, 2002, Fig. 3). 북부고산지역

식물지리구는 북한의 백두산, 금패령 등 11개 고산지역에 자라는 각시석남(*Andromeda polifolia* L.), 린네풀(*Linnaea borealis* L.), 가솔송(*Phyllodoce caerulea* (L.) Bab.) 등 극지고산성 상록식물이 대표한다. 이들은 제4기 플라이스토세 빙하기 동안에 북방의 추위를 피해 한반도로 들어온 식물이 후빙기에 들어 기후가 따뜻해지면서 사라지고 높은 산에서 살아남은 것이다(Kong, 1989).

남북아고산지역 식물지리구는 북한의 증산에서 남한의 덕유산에 이르는 높은 산 21곳에 자라는 섬잣나무(*Pinus parviflora* Siebold & Zucc.), 툇향나무(*Juniperus chinensis* var. *horizontalis* Nakai ex Uyeki), 회솔나무(*Taxus baccata* var. *latifolia* Nakai) 등이 대표한다. 이곳에 섞여 자라는 북방계의 극지고산식물, 고산식물, 아고산식물과 남방계의 난대성식물은 이 지역이 환경과 식생 변화가 많았고, 지금도 다양한 환경이 유지되고 있음을 보여준다(Kong, 1989).

중부산악지역 식물지리구는 북한의 구월산에서 남한의 속리산에 이르는 16곳의 중부산지에 자라는 동백나무겨우살이(*Korthalsella japonica* (Thunb.) Engl.), 눈개비자나무(*Cephalotaxus nana* Nakai) 등이 대표한다. 이곳은 북방계와 남방계 식물이 교차하는 내륙의 식생 분포상 전이지대로 볼 수 있다(Kong, 1989).

남부산악지역 식물지리구는 남부 25개 산지로 이루어지며, 차나무(*Camellia sinensis* L.), 개산초(*Zanthoxylum planispinum* Siebold & Zucc.), 비자나무(*Torreya nucifera* (L.) Siebold & Zucc.) 등이 대표한다. 한대성 상록침엽수도 자라지만, 주로 난대성 상록침엽수, 상록활엽수 및 대나무류가 많아 식물 분포 상 남방계에 속하는 것으로 볼 수 있다(Kong, 1989).

중서부도서지역 식물지리구는 서해의 강화도, 죽도 등 11개 섬으로 이루어지며, 섬향나무(*Juniperus chinensis* var. *procumbens* Siebold & Endl.), 순비기나무(*Vitex rotundifolia* L.f.), 센달나무(*Machilus japonica* Siebold & Zucc.) 등 15종의 상록식물이 자라는 지역으로 남방계 식물과 북방계 식물이 섞여 자라는 식생의 전이지대로 볼 수 있다(Kong, 1989).

남부도서지역 식물지리구는 중부 이남의 홍도로부터 거제도에 이르는 11곳을 포함한다. 후추등(*Piper kadsura* (Choisy) Ohwi), 죽절초(*Sarcandra glabra* (Thunb.) Nakai), 소귀나무(*Myrica rubra* (Lour.) Siebold & Zucc.) 등이 자라는 지역으로 남방계 상록활엽수가 많은데, 이들 중에는 후빙기에 남쪽으로부터 이동해온 식물이 많다. 이 지역은 식물의 종 다양성이 높는데, 그것은 현재의 환경조건이 식물이 살기에 적합하다는 것을 의미한다(Kong, 1989).

서·남·동해 도서와 인근 내륙지역 식물지리구는 중남

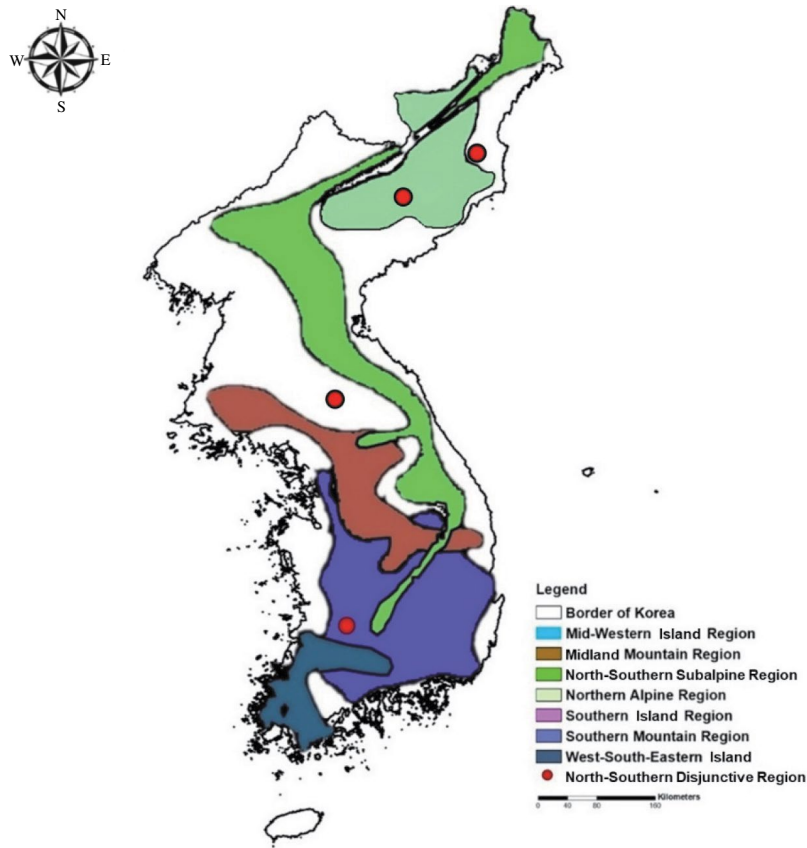


Fig. 3. Plant geographical region of the Korean Peninsula (Lee and Yim, 2002).

부 섬과 남서부 내륙 일부를 포함하며 백령도에서 울릉도, 김제에서 만덕산에 이르는 47개 지역에 해당한다. 난대성의 구실잣밤나무, 모밀잣밤나무 (*Castanopsis cuspidata* (Thunb.) Schottky), 천선과나무 (*Ficus erecta* Thunb.) 등 상록식물이 자라는데, 남방계요소는 섬에 많고, 북방계요소는 내륙에서 흔하다(Kong, 1989).

남북격리지역은 명천, 풍산, 평강, 완주 등 북한 지역과 남한의 4곳으로 이루어진다. 이곳에는 다른 곳에서 자라지 않는 관음죽 (*Rhapis excelsa* (Thunb.) Henry), 신이대 (*Sasa coreana* Nakai), 풍산가문비 (*Picea pungsanensis* Uyeki), 만주곰솔 (*Pinus tabuliformis* var. *mukdensis* (Uyeki ex Nakai) Uyeki) 및 평강노간주 (*Juniperus rigida* var. *modesta* Nakai)가 자라는 곳이다(Kong, 1989).

### 3. 지질다양성

한반도는 북에서 남으로 낭림육괴, 경기육괴 및 영남육괴의 3개 선캄브리아 지괴로 구성된다(Fig. 4, Lee and Cho, 2012). 이러한 지괴들은 암층서적으로 시생대부터 초

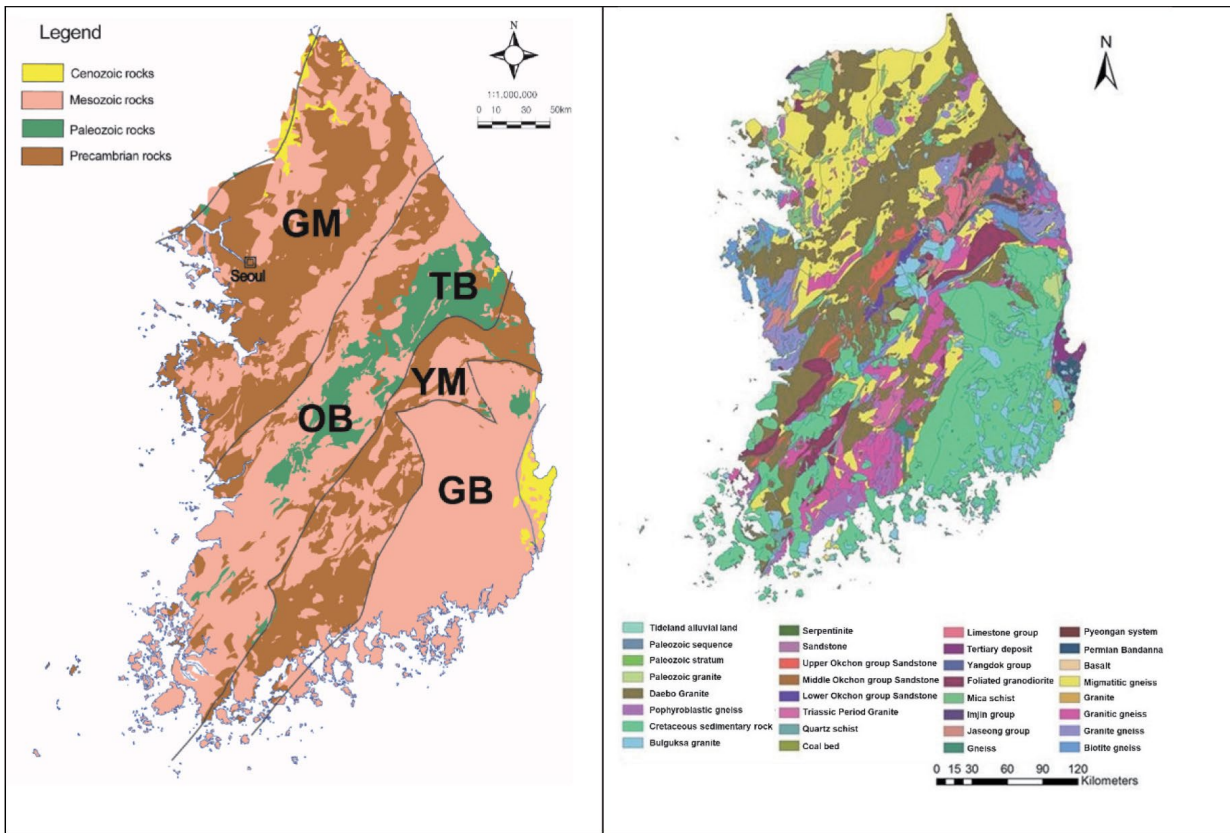
기 원생대 사이에 형성된 결정질 기반암과 기반암 상에 퇴적된 초기 원생대부터 후기 원생대 사이에 형성된 변성퇴적암으로 구성된다. 낭림육괴와 영남육괴 내에는 화성암 기원의 기반암이 우세한 반면, 경기육괴 내에는 퇴적암 기원의 기반암이 우세하다(Lee and Cho, 2012).

한반도의 지질 계통은 화강편마암계가 32.4%로 가장 많고, 화강암계(22.3%), 결정편암계(10.3%), 조선계(10.1%), 경상계(8.0%), 현무암(5.2%), 충적층(4.8%), 평안계(2.2%), 반암과 응회암(2.2%) 순으로 나타난다(NIAS, 2005; KIGAM, 2007).

### 4. 지형다양성

지형다양성은 기온변화를 식생의 종류를 결정하는 고도와 토양수분함량을 비롯해 미기후 변화를 통해 식생의 종류를 결정하는 미지형으로 구분하여 검토하였다.

지형은 KNGII (2020)에서 제공하는 지형도를 기반으로 삼아 분석하였다(Fig. 5). 한반도의 평균 고도, 평균 기복량 및 평균 경사는 각각 433 m, 486 m 및 10.4°로 나타났다.



**Fig. 4.** Geological maps of Republic of Korea. Left map (Lee and Cho, 2012) indicates massifs and parent rocks different in formation period. Right map (NIAS, 2005) shows geologic series. GM: Gyeonggi Massif, YM: Yeongnam Massif, TB: Taebaek Belt, OB: Okcheon Belt, GB: Gyeongsang Basin.

한반도의 지형은 전체적으로 북동부 지역은 높고 험준한 산악 지형이고, 남서부 지역은 구릉성 산지가 발달하며, 그 사이에는 저산성 산지가 폭넓게 분포한다(Fig. 5).

풍화와 침식에 대한 저항이 큰 기반암으로 이루어진 지역일수록 높고 험준한 산지나 능선을 이루고, 약한 지역은 저지, 분지 및 골짜기로 이루어진다. 한반도의 64%를 차지하는 산지는 대체로 저산성 산지로 존재하고, 남서부 평야 지역에는 차별 침식에 의한 잔구성 산지가 존재한다. 태백산을 중심으로 동부는 산악지, 서부는 경사가 완만한 구릉지를 이루고 있어 주요 강인 한강, 금강, 영산강 및 낙동강이 대체로 서남방향으로 흐르고 있다. 산악지역은 동해안을 따라 남북으로 뻗은 태백, 소백, 노령, 차령 및 광주산맥을 중심으로 분포되어 있으며, 산록경사지가 많고 산악지역 사이에는 경사가 비교적 완만하며 해발이 낮은 구릉지가 분포한다. 평탄지는 주로 서해안과 서남해안에 분포하고 있으며, 내륙에는 한강, 영산강, 낙동강, 금강 및 섬진강 유역에 다소 분포한다(Kwon *et al.*, 2016).

산림의 고도가 높아짐에 따른 기후 조건의 차이는 식생

대의 변화를 가져온다(Kwon *et al.*, 2016). 수직적 식생을 살펴보면, 난온대 지역인 제주도 한라산의 경우 600 m 이하에는 난온대상록활엽수림, 600~1,500 m에는 온대낙엽활엽수림, 1,500 m 이상에는 아한대림과 같은 성격의 아고산 침엽수림이 형성되어 있다(Yim *et al.*, 1991). 온대림지역인 지리산, 금강산 및 설악산의 경우는 난온대 상록활엽수림은 나타나지 않고 1,000~1,300 m 이하에 온대낙엽활엽수림이 나타나고, 그 이상에서는 아한대림이 나타나고 있다. 낭림산맥과 함경산맥이 포함된 북부산악지역에서는 700~900 m 이상에서부터 아한대림이 나타나고 있다(Kwon *et al.*, 2016).

식생의 차이를 보이는 미지형은 평지와 산지로 구분되고 산지의 경우 산록, 산복, 그리고 능선 및 산정으로 구분되는 경향이였다. 평지의 경우 오리나무(*Alnus japonica* (Thunb.) Steud.)군락이 주로 성립하였고, 산지에서는 지형 변화에 따라 갈참나무(*Quercus aliena* Blume)군락, 서어나무(*Carpinus laxiflora* (Siebold & Zucc.) Blume)군락, 졸참나무군락, 굴참나무군락(전석지 및 남사면의 경우), 신갈

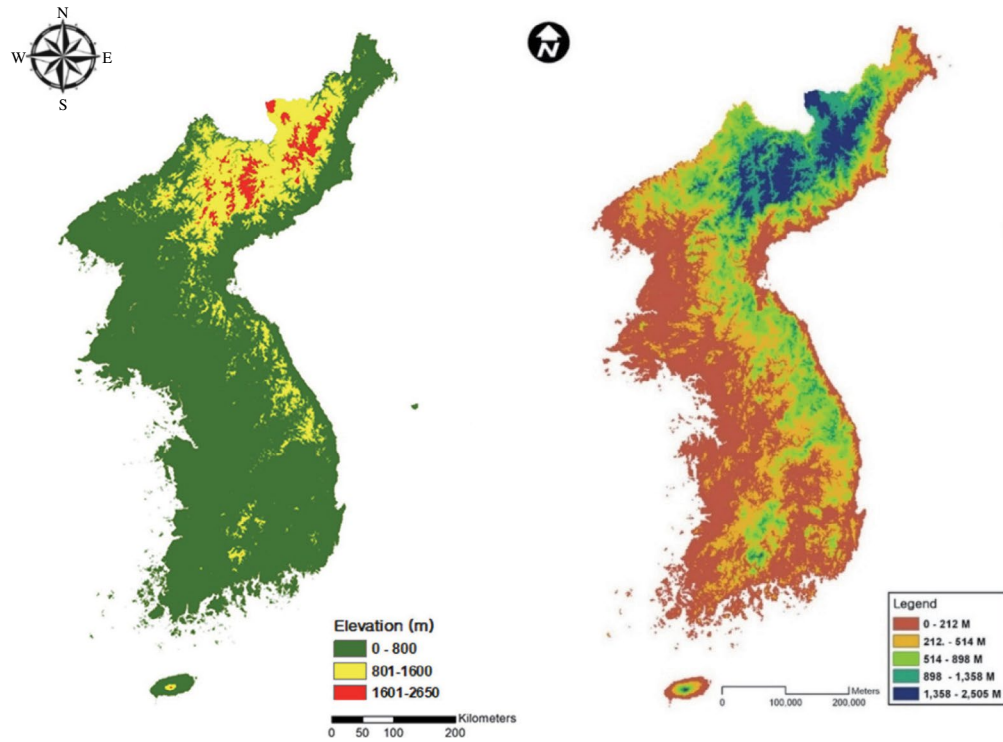


Fig. 5. Topographic maps of the Korean Peninsula (KNGII, 2020). Vertical vegetation zone was divided at the elevation interval based on 4°C, which is the temperature difference that change of vegetation zone can occur.

나무군락, 소나무 (*Pinus densiflora* Siebold & Zucc.) 군락 (1,200 m 이하) - 잣나무 (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.) 군락 (1,200 m 이상) - 전나무군락 - 가문비나무군락- 구상나무 (*Abies koreana* Wilson) 군락 (아고산대)이 성립하는 경향이였다 (Seoul city 1997, 1998; Yim *et al.*, 1991). 한편, 주목 (*Taxus cuspidata* Siebold & Zucc.) 군락은 신갈나무군락이 분포하는 범위에서부터 아고산 지역에 이르기까지 넓은 분포범위를 유지하였다 (Lim *et al.*, 1991).

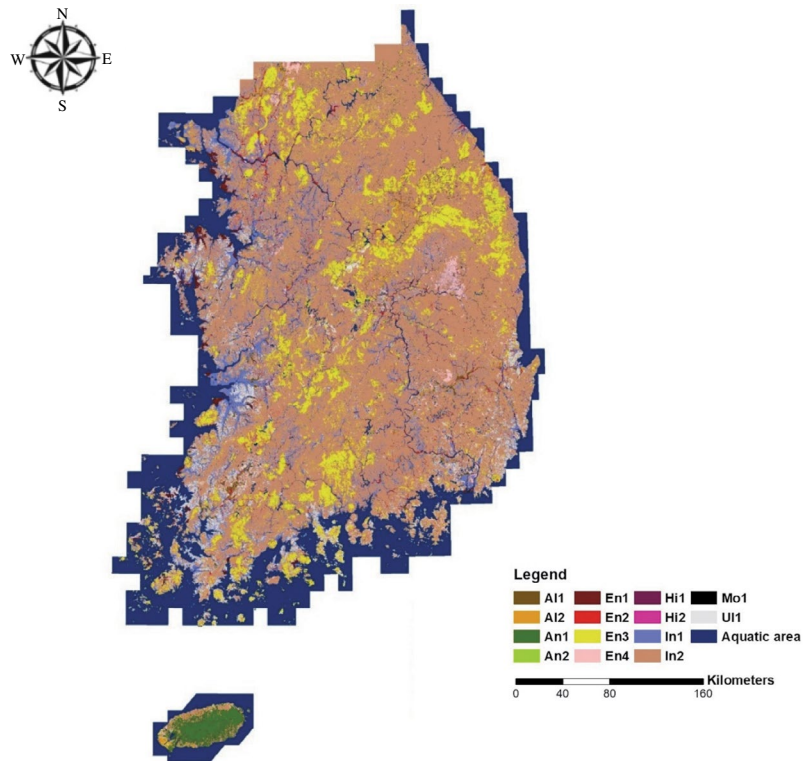
계곡의 경우는 그 폭과 유량 유지 특성에 따라 입구, 중간 및 고지 계곡으로 구분되는 경향이였다 (Kang and Lee, 1991). 입구 계곡은 폭이 넓고, 유량이 지속적으로 유지되며, 식생은 느티나무 (*Zelkova serrata* (Thunb.) Makino) 군락이 우점하는 경향이였다. 중간 계곡은 유량이 간헐적으로 유지되고 서어나무군락, 개서어나무 (*Carpinus tschonoskii* Maxim.) 군락, 가래나무 (*Juglans mandshurica* Maxim.) 군락, 거제수나무 (*Betula costata* Trautv.) 군락, 귀룽나무 (*Prunus padus* L.) 군락 등이 우점하는 경향이였다. 고지 계곡은 유량이 강우 시에만 유지되고 졸참나무군락, 까치박달 (*Carpinus cordata* Blume) 군락, 층층나무 (*Cornus controversa* Hemsl.) 군락, 고로쇠나무 (*Acer pictum* subsp. *mono* (Maxim.) Ohashi) 군락 등이 우세한 경향이였다.

도시, 농경지 등과 같이 인간 간섭이 빈번한 지역은 개발이 용이한 저지대에서 이루어진다. 따라서 이러한 개발지에서는 평지와 저지대에 성립하는 식생이 사라지는 경우가 많았다. 실제로 인구밀도가 높고 산지가 64%를 차지하여 개발이 용이한 토지가 적은 우리나라에서는 저지대에서 과도한 토지이용이 이루어져 평지에 성립하는 오리나무군락 같은 경우는 전국적으로 희귀한 식물군락으로 자리잡았다. 또 서울과 같은 대도시에서는 과도한 토지이용으로 그린벨트지역을 제외하면 느티나무군락, 서어나무군락, 갈참나무군락, 졸참나무군락 같이 저지대에 성립하는 식물군락이 사라지거나 군락의 형태를 이루지 못하고 있다 (Hong and Lee, 1997; Seoul city, 1997, 1998; Lee *et al.*, 1998a, b). 그 결과 이러한 식생분포 배경을 환경오염으로 인해 식생의 천이가 진행되지 못해 나타난 결과로 그릇되게 해석하는 경우도 있었다.

### 5. 토양다양성

토양의 다양성은 NIAS (2005)에서 제공하는 토양도를 기반으로 삼아 분석하였다. 한반도는 7~8월에 강우가 집중되기 때문에 경사지에서는 토양 유실이 심하여 토심이





**Fig. 6.** Soil diversity of Republic of Korea (NIAS 2005, Al: Alfisols-Aqualfs (A11), Udalfs (A12), An: Andisols-Udands (An1), Vitrandis (An2), En: Entisols-Aquepts (En1), Fluvents (En2), Orthents (En3), Psammentis (En4), Hi: Histosols-Sapristis (Hi1), Hemists (Hi2), In: Inceptisols-Aquepts (In1), Udepts (In2), Mo: Mollisols-Aquolls (Mo1), UI: Ultisols-Aqualls (UI1))

얇은 토양이 형성되는 반면에 하천 부근의 평탄지 및 산록 하부는 충적물이 퇴적되어 토심이 깊은 토양이 형성되어 있다. 우리나라에서 발견되고 있는 토양은 총 7목 14아목 390 토양통으로 이루어진다(NIAS, 2005). 토양다양성은 아목 수준에서 검토하였다(Fig. 6). 우리나라에는 토양의 층위가 발달하기 시작한 젊은 토양인 인셉티솔(Inceptisols, Brady and Weil, 2008)이 가장 많이 분포한다(Fig. 6). 하천의 범람이 자주 일어나는 하천변과 해안의 사질 토양, 암석이나 자갈 함량이 높은 곳에는 엔티솔(Entisols)이 주로 분포한다. 충적지대나 약한 경사의 잔적지에는 울티솔(Ultisols)과 알피솔(Alfisols)이 주로 분포한다. 안디솔(Andisols)은 화산회토로서 제주도과 울릉도에 분포한다. 몰디솔(Moldisols)은 주로 반건, 반습 기후조건외 초지에서 형성 발달하여 우리나라에서는 석회암지대와 해안가에 좁은 면적으로 분포한다. 히스토솔(Histosols)은 물이 포화된 지역이나 늪지대에서 형성 발달되어 있다(Fig. 6).

## 6. 생태지역다양성

생태지역은 지리 및 지형에 따른 기후 반응이 비교적 동

일한 지역을 의미한다. 생태지역은 기후자료와 지형 사이의 관계를 검토하여 구분하였다(Shin, 1996). 생태지역은 강원 해안지역, 울진영덕 해안지역, 중부 내륙지역, 임진 하류지역, 경기인천 지역, 충남 해안지역, 남서 내륙지역, 남부 산간지역, 낙동 상류지역, 형산 태화지역, 남동 내륙지역, 전라서부지역, 남해 동부지역, 남해 서부지역, 제주 특수지역 및 울릉 특수지역의 16개 지역으로 구분하였다(Shin, 1996, Fig. 7).

생태지역 간 기후특성을 비교해 보면, 겨울에는 기온 차이가 크고 여름에는 작았다. 겨울 기온은 중부 내륙지역이  $-3.34^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮았고, 남해 동부지역이  $3.24^{\circ}\text{C}$ 로 가장 높아  $6.58^{\circ}\text{C}$ 의 지역 간 차이가 나타났다. 여름 기온은 강원 해안지역이  $22.29^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮고, 전라 서부지역이  $24.09^{\circ}\text{C}$ 로 가장 높아  $1.8^{\circ}\text{C}$ 의 지역 간 차이가 났다. 따라서 한랭 지수에 의해 구분된 상록활엽수림대 분포역은 명확히 구분되나, 온량지수에 의해 구분되는 낙엽 활엽수림대의 분포는 명확히 구분되지 않았다. 여름 기온의 지역 간 차이가 크지 않은 것은 한반도의 북쪽에서도 논농사를 지을 수 있는 등 생물다양성 기반(습지 형성 등)을 유지하는데 중요한 의미가 있다. 강수량은 여름(6~8월)에 집중

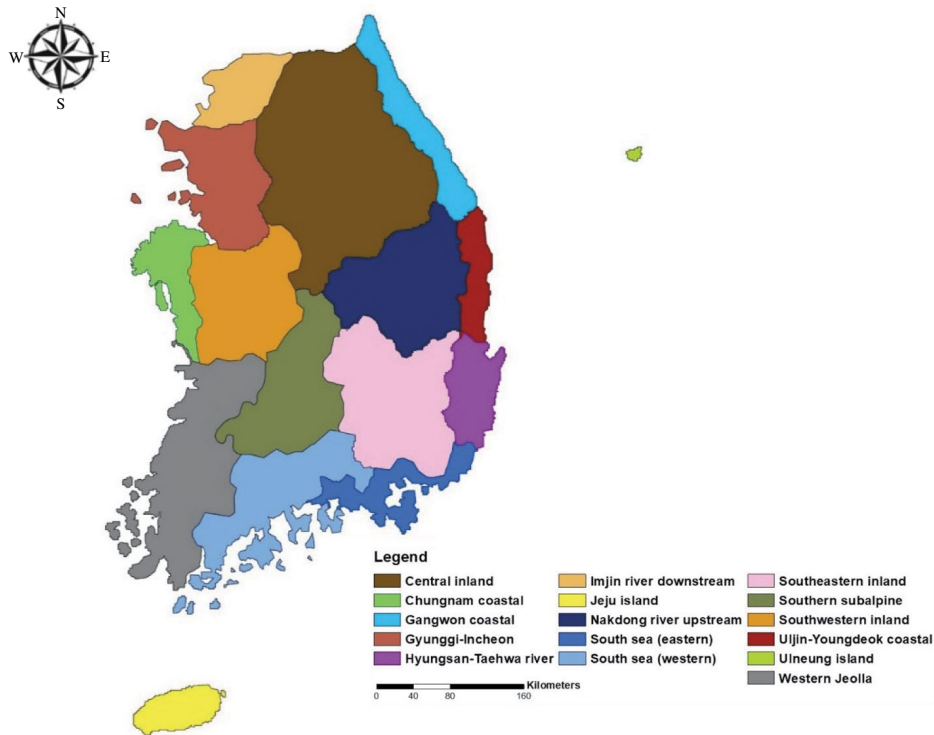


Fig. 7. Ecoregion diversity of Republic of Korea (Shin, 1996).

되어 연 강수량의 약 50%를 차지하고, 지역 간 차이가 커서, 생태 지역별로 생산성의 차이가 많이 나고 다양한 서식처 형성의 배경이 된다(Shin, 1997).

7. 생태계다양성

우리나라의 산림생태계는 백두대간을 축으로 산악 지역 생태계가 골간을 이루고 있으며, 난온대에서 아한대에 이르기까지 다양한 식생대가 분포한다(Fig. 1). 산림 면적은 6,334천 ha로 전체 국토 면적의 62%를 차지하고 있다. 그 중 침엽수림이 2,339천 ha (39%), 활엽수림이 2,028천 ha (33%), 그리고 혼합림이 1,705천 ha (28%)를 차지하고 있다(KFS, 2016). 숲의 연령별 면적 분포는 30년 미만인 2,023천 ha (32%)를 차지하고, 30년생 이상이 4,142천 ha (65%)를 차지하고 있다. 산림에 서식하는 멸종위기종은 동물 18종, 식물 36종이며, 산림청 지정 희귀·특산식물 후보종 49종을 포함하여 총 219종이 생육하고 있다. 국립공원의 경우 지리산 6,977종, 설악산 4,612종, 덕유산 4,174종 등 우리나라 생물종의 80%를 보유하고 있다(ESK, 2013).

농경생태계는 전체 국토 면적의 15.7% (1,580천 ha)를 차지하며, 그 중 52% (830천 ha)가 논이고, 48% (751천 ha)

는 밭으로 구성(2019년 기준)되어 있다. 농경지에 성립한 터주 식생은 7군집, 2아군집, 32군락으로 구성(총 41개 비오톱)되고, 527종이 그 식생을 구성하고 있다. 논 생태계에는 5문 7강 222종의 수서무척추동물이 출현하고 있다(ESK, 2013).

하천생태계의 경우 서해와 남해 방향으로 큰 하천이 완만하게 흐르며, 동해로 유입되는 하천은 길이가 짧은 급류가 많다. 평상시에는 유량이 적고 우기에 유량이 집중되는 강수량의 계절적 편중으로 인해 유량 차이가 심하다. 게다가 물리적 요인(댐 건설, 고수부지 개발 등), 화학적 요인(공장폐수, 기름유출 등) 및 생물학적 요인(황소개구리(*Lithobates catesbeianus* Shaw) 등 외래 유입종)으로 인해 하천생태계가 교란되어 그곳에 성립한 생물다양성이 크게 위협받고 있다(ESK, 2013). 강의 하구는 추이대(ecotone)로서 다양한 서식 환경을 이루고 있어 많은 종류의 담수, 해수 및 기수 생물이 혼재하여 생물다양성이 특히 높지만 상류지역으로부터 영양염류, 유기물 및 여러 가지 오염물질이 유입되어 본래의 다양한 기능이 위축되고 생물다양성도 위협받고 있다(Lim and Kim, 2018). 한편, 하천을 가로막아 조성된 인공호는 상수원을 비롯한 수자원 확보를 위해 축조되어 수심이 깊은 새로운 형태의 서식처를 형성

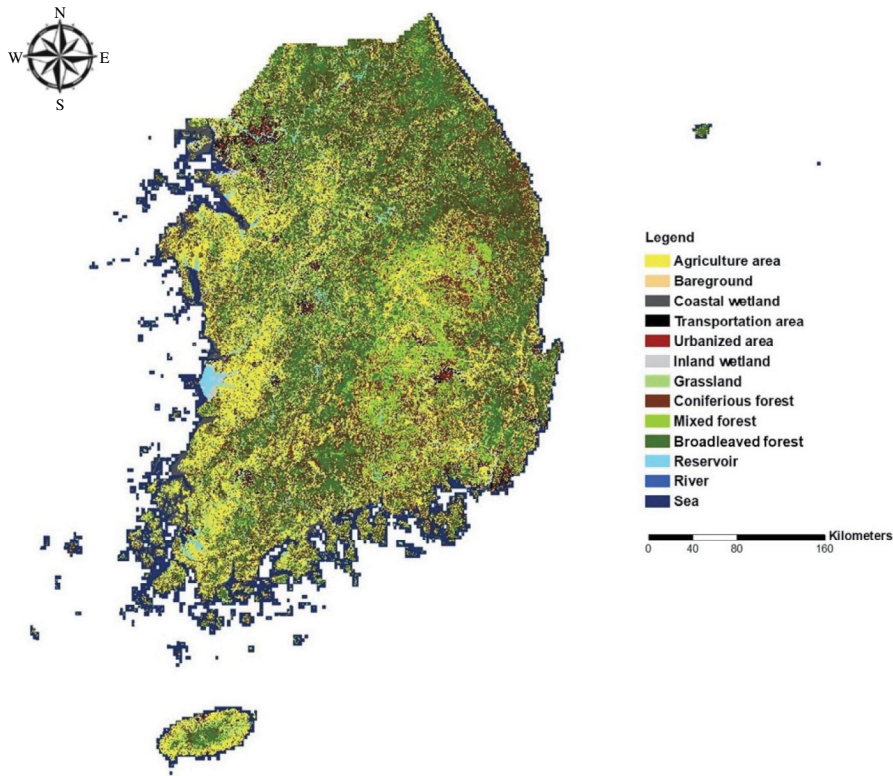


Fig. 8. A map showing land use types in Republic of Korea (KNGII, 2020).

하여 생태계 변화를 유발하고 있다 (ESK, 2013; Lim and Lim, 2018).

그러나 지금까지 다루어지지 않은 심각한 문제는 수역과 수변생태계의 조합으로 이루어진 하천경관의 황적 축소와 단절이다. 우리나라 하천은 주변의 홍수터, 즉 수변구역(riparian zone)이 과거에는 식량확보를 위한 농경지로 전환되면서 그 폭이 크게 축소되었고, 근래에는 그 지역 중 넓은 면적이 다시 도시화지역으로 전환되면서 폭이 좁아진 하천경관에 환경스트레스를 가중시키고 있다. 나아가 폭이 좁혀진 내부에서 다시 복단면을 축조하여 수로 폭은 더 좁아졌고, 복단면 위에서는 다시 농경지와 레크리에이션 시설이 조성되면서 환경압력을 극대화 시키고 있다. 이렇게 단계적으로 폭이 좁아진 수로에서는 유속이 증가하여 하천의 미지형이 단순해져 생태적 다양성이 감소하고 그것은 생물다양성 감소로 이어지고 있다. 나아가 경사가 완만해 개발이 용이한 하천경관 주변에서 이루어진 다양한 토지이용은 하천 경관과 육상생태계의 단절을 초래하여 또다시 생물다양성 감소를 부추기고 있다. 특히 하천경관이 다양한 생물들의 번식환경임을 고려할 때 이러한 생태적 단절은 생물다양성 유지에 매우 큰 장애물로 기능

하고 있다 (An *et al.*, 2015a, b, 2016a, b; Jung *et al.*, 2018).

우리나라 내륙습지의 분포 및 면적을 제1차 전국내륙습지조사 및 자연환경조사 등을 토대로 살펴보면 5,076.3 km<sup>2</sup>로 북부권(경기 1,107 km<sup>2</sup>, 중부권(충남, 충북, 경북, 전북) 428.3 km<sup>2</sup>, 그리고 남부권(전남) 3,541 km<sup>2</sup>로 나타났다 (MOE, 2010). 주요 내륙습지 유형은 호수주변습지, 하천유역습지, 산지습지 등으로 이루어진다. 호수 주변 습지는 수위 변화가 심한 인공호수가 많아 그 면적이 넓지 않다. 하천유역습지 역시 농경지로 전환된 면적이 넓어 그 기능이 크게 축소되어 있다. 그런 점에서 산지습지의 중요성은 매우 높다. 내륙습지는 강이 바다와 만나는 지점에 위치한 하구 습지, 하천 배후습지, 해변 모래가 만을 가로막아 형성된 석호, 높은 산에 형성된 습지 및 분화구에 물이 고여 형성된 습지 등으로 이루어져 있다. 그 중 서해안과 남해안에 잘 발달된 갯벌이 우리나라 습지 면적의 대부분을 차지하고 있다. 갯벌은 경기·충청권(전라북도 포함), 전남권, 경상권(제주도 포함)으로 총 3개의 대권역으로 구분되고, 총 1,141종의 생물이 서식하고 있다 (MOF, 2015).

연안 및 해양 생태계의 경우 연안습지의 총 면적은 국토 면적 대비 2.5% (2,482 km<sup>2</sup>)이고 그 중 서해안에 전체의

97% (2,399.1 km<sup>2</sup>)가 집중되어 있다(MOF, 2018). 연안·해양경관은 만, 석호, 갯벌, 사취, 사주, 해변, 수중 등 경관적 가치가 높은 지역으로서 어촌관광 및 생태관광 자원으로 활용된다. 전국 총 133개소의 해안사구는 그 길이가 1 km 이상의 것이 73개, 2 km 이상의 것이 28개로 이루어져 있다(MOF, 2010). 해안사구는 일차적으로 해안선을 따라 형성되는 전사구와 퇴적된 모래가 다시 침식·운반·퇴적되어 형성되는 이차사구로 구분할 수 있고, 해안모래의 저장, 지하수의 저장, 희귀 동·식물의 서식처 등 해안생태계에서 다양한 기능을 하고 있으며 환경·생태·지리적으로 매우 중요한 가치를 지니고 있다(MOF, 2015) 우리나라의 총 해안선 길이는 14,953 km(2016년 기준)이다. 그 중 5,086 km가 인공해안선으로 이루어져 해양과 육지의 생태적 단절을 가져오고 있다(MOF, 2019). 해안선은 매립·간척, 항만 및 산업단지 건설, 장기간의 점용·사용 시설 설치 등 연안의 이용 및 개발 행위로 인공화가 진행되고 있다. 해안선은 전남지역이 47.6% (6,032 km)로 가장 넓은 부분을 차지하고, 경남(17.0%), 충남(8.4%) 순으로 긴 길이를 차지하고 있다. 해양생태계는 물리적 환경특성, 서식 해양생물종, 개체수의 유사도에 따라 4대 권역과 20개 소권역으로 구분된다. 해양생물 총 출현종수는 4,874종이고, 해양보호생물은 포유류 16종(고래 10종), 무척추동물 34종, 해조류(해초류포함) 7종, 파충류 4종, 어류 5종, 조류 14종으로 총 80종이 지정되어 있다(MOF, 2019).

전국 도시의 도시화율은 평균 44.2% (2018년 기준)로 나타났다. 그 중 서울과 부산의 도시화율이 100%로 가장 높았고, 대구(95.8%), 광주(90.3%), 울산(91.8%) 등의 순으로 높았다(KLH, 2018). 도시화지역은 중앙부에 각종 공공 및 상업 시설이 있고, 그 주변으로 주거지가 분포하고 있어 녹지가 크게 부족하다. 도시화지역 사이로 자연림을 보유한 산들도 있지만, 과도한 인간간섭과 만성적 대기오염으로 그들이 발휘하는 생태적 기능이 크게 위축되어 있다. 도시림의 산자락은 주로 인공조림지로 이루어지고, 그 위쪽으로 자연림이 분포하는 경향이다(Lee *et al.*, 2008, 2019).

## 8. 토지이용유형

KNGII (2020)에서 제공하는 자료를 이용하여 우리나라의 토지이용유형도를 작성하였다(Fig. 8). 토지이용유형은 농경지, 나지, 해안습지, 교통시설, 도시화지역, 내륙습지, 초지, 침엽수림, 혼합림, 활엽수림 및 수역으로 나타났다. 그 면적은 침엽수림, 농경지, 혼합림, 활엽수림 등의 순서로 높았다(Fig. 8).

## 논 의

### 1. 우리나라 생물다양성 관리의 문제와 해결방안

생물다양성을 담는 그릇과 같은 역할을 하는 우리나라의 생태계는 오늘날 많은 문제점을 보유하고 있다. 토지이용지도(Fig. 8)가 보여주듯이 산림은 심하게 파편화되어 있다. 국지적으로 보면, 우리나라 대부분의 산은 온전한 경관요소를 갖추지 못하고 저지대가 사라지거나(Lee *et al.*, 1998a, b; Lee *et al.*, 2008) 훼손되어 식생다양성이 감소하고 있다(Lee *et al.*, 1998a, b). 나아가 그 영향은 외래종의 확산요인으로 작용하여(Seoul city, 1997, 1998) 추가적인 생물다양성 감소요인으로 작용하고 있다(Lee *et al.*, 2003; Lee and Lee, 2006; Jung *et al.*, 2019). 이에 더하여 최근에는 시민편의를 추구한다는 명목으로 ‘둘레길 조성사업’을 벌이며 또 다른 파편화를 유발하여 외래종 확산을 가져오고 그 결과로 생물다양성 감소가 우려되고 있다(Lee *et al.*, 2003; Lee and Lee, 2006; Lee *et al.*, 2010).

기후변화의 영향 또한 심각하다. 아고산대 상록침엽수림을 이루는 식생이 기후변화의 영향으로 심각한 쇠퇴 징후를 겪으며 사라질 위기에 처해 있다(Lim *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2019). 그 영향이 도시에서는 더 심각하여 도심과 도시 외곽의 온도 차가 식생대가 변할 수 있는 수준(4°C, Middelkoop *et al.*, 2001)을 넘어 식생의 구조가 바뀌는 쇠퇴 징후를 겪다(Lee *et al.*, 2008) 최근에는 그 영향이 식물의 집단 고사 형태로 나타나고 있다(Lee *et al.*, 2019). Lee *et al.* (2019)은 과도한 토지이용이 가져온 도심의 기온 상승이 증발량 증가를 유발하여 토양수분함량이 영구 위조점 이하로 떨어지며 식물의 집단 고사를 가져 온 것으로 판단하고 있다(Lee *et al.*, 2006, 2019; Jung *et al.*, 2019).

하천생태계는 과도한 토지이용으로 하폭이 감소하였고, 물 이용을 위해 댐이나 보가 건설되며 홍수 체제가 교란되었으며 과도한 레크리에이션시설 도입을 위한 하천의 구조 변경(복단면) 등으로 인해 외래식물을 비롯한 육상식물이 과도하게 번성하며 하천의 생태적 질이 떨어져 하천이 보유하고 있는 생태다양성이 크게 감소되어 있다(Lee *et al.*, 2005; Jung *et al.*, 2018; Lee *et al.*, 2020).

한편, 이러한 문제를 해결한다는 명목으로 시도된 복원 사업은 생태적 복원이 아니라 미관을 다듬는 조정사업으로 진행되어 외래종과 생태적 조건에 어울리지 않는 육상식물이나 품종 개량된 원예종 등을 도입하여 오히려 생태계를 훼손하는 결과를 초래하고 있다(An *et al.*, 2014; Jung *et al.*, 2019).

이러한 생태적 현실을 고려할 때 향후 한국의 생물다양

성은 크고 빠르게 감소할 것으로 판단된다. 이러한 문제를 해결하여 생물다양성 보존을 이루어내기 위해서는 생물다양성 보존대책이 자연의 체계를 반영하고, 생물다양성 감소를 가져오는 주요인에 대한 체계적이고 과학적인 검토를 거쳐 마련될 필요가 있다(Lee *et al.*, 1998a, b; Cho and Lee, 1998a, b; Lee *et al.*, 2003, 2010; Lee and Lee, 2006; ESK, 2013; Jung *et al.*, 2019).

## 2. 생물다양성 감소 원인 및 대책

도시 및 산업시설이 건설되면서 자연생태계가 파괴되었고, 도시화 및 산업화시설로부터 배출된 오염물질로 인해 자연환경이 오염되어 왔다(Lee *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2007, 2008, 2019, 2020). 특히, 도시화 면적의 확대와 여러 가지 개발 사업으로 인해 주변의 자연자원을 훼손, 고갈시키는 것은 물론 생태계를 근본적으로 파괴시키는 결과를 초래하였다(Lee *et al.*, 2008, 2019). 그 결과 이러한 개발지를 서식환경으로 삼고 있던 생물들이 우선 사라졌고 이와 같이 변화된 환경에 적응하지 못한 종들이 절멸 또는 멸종되었으며, 현재 많은 종들이 절멸 위기에 처하면서 생물다양성이 크게 위협받고 있다(Sodhi and Ehrlich, 2010; Primack, 2012; ESK, 2013).

생물다양성 감소를 초래하는 요소로 다음과 같은 원인을 들 수 있다. 첫째, 개발의 직접적 영향으로 인한 감소, 둘째, 사회·경제적 변화에 수반된 감소, 셋째, 외래종 및 화학 물질 유입에 따른 감소, 넷째, 기후변화로 인한 감소가 그러한 원인에 해당한다(JME, 2012; Primack, 2012; ESK, 2013).

인간 활동과 개발에 따른 감소는 인간 활동과 개발 등 인간이 만든 생물다양성 위해 요인이 생물다양성에 끼치는 영향이다. 감상용 또는 상업적 이용에 의한 생물의 남획, 도굴, 과잉 채집 등 직접적인 생물의 채취 뿐만 아니라 연안지역의 매립 등 개발이나 삼림의 용도 전환 등 토지이용의 변화에 따른 번식 및 생육지의 파괴와 그 환경의 악화가 원인으로 꼽힌다. 또한 하천의 직선화, 고정화 및 농지의 개발 등에 따른 크고 넓은 범람원 및 습지의 소실도 생물다양성 감소를 가져오는 요인으로 볼 수 있다(Lee *et al.*, 2001; JME, 2012; Primack, 2012; ESK, 2013).

이 문제에 대해서는 대상의 특성과 중요성에 따라 인간 활동에 동반되는 영향을 적절히 피하고 최소화하는 등의 대응이 필요하며, 자연 그대로의 보전을 강화함과 동시에 자연생태계 변화의 필요성에 대해 충분히 검토할 필요가 있다. 여기에 이미 소실 또는 퇴화된 생태계에 대해서는 과학적 지식에 근거하여 복원을 적극적으로 추진해 나갈

필요가 있다(JME, 2012; Primack, 2012; ESK, 2013).

생물다양성 감소의 주 요인으로 많은 연구자들은 서식처 감소와 그 질의 저하를 꼽고 있다(Diamond, 1984; Gaston and Spicer, 2004). 넓은 면적의 서식처는 더 많은 생물종을 보유하는데(MacArthur and Wilson, 1967), 그 이유는 그들이 더 많은 서식처를 보유하여 더 많은 생물들이 정착하여 살아갈 수 있는 기회를 주기 때문이다. 더 큰 면적의 서식처는 지형이 다양할 뿐만 아니라 다른 환경요인도 더 다양하기 때문에 더 많은 서식처를 보유한다(JME, 2012; Primack, 2012; ESK, 2013).

인류는 유사 이래 서식처 자체를 변화시켜 왔고, 서식처 또는 식생 유형의 분포도 변화시켜 왔다(McGlone, 1983). 토지이용 변화는 종수-면적 사이의 관계에서 밝혀지듯이 많은 종의 소실을 가져 왔고, 가까운 장래에 멸종될 가능성이 높은 종의 주요 멸종원인으로 알려져 있다. 지구적 차원에서 민물 어류 약 70% (Harrison and Stissny, 1999), 조류 85% 그리고 대형 포유류 47%가 이런 이유로 멸종위기에 처해 있다(Sodhi and Ehrlich, 2010).

토지이용유형 변화가 인간의 직접적 활동뿐만 아니라 인위적 기후변화에 의해서도 앞으로 늘어날 것으로 예측되고 있다(Lee *et al.*, 2019). 인간이 경관에 일으키는 변화 중 많은 것은 몇몇 식생 유형의 면적 감소와 다른 유형의 확장뿐만 아니라 식생의 파편화가 포함된다. 이것은 농경지 및 개발지 기질 내에 잔존하는 자연식생이 작은 면적으로 끼워진 형태의 경관을 만들어낸다. 파편화는 파편화된 패치에서 빛, 물 그리고 영양염류의 유입과 같은 물리적 환경의 변화를 가져오는데, 식생의 규모가 국지적 기후에 영향을 미치고, 패치의 규모가 작을 때 가장자리 면적의 비율이 늘어나 침투 가능성이 증가하여 주변 환경에서 일어나는 사건 및 과정의 영향을 더 크게 받기 때문이다. 가장자리 면적의 비율이 늘어나면 외래종 침입 가능성이 높아지고(Lee *et al.*, 2002; Lee and Lee, 2006), 사냥이나 오염 같은 인간 활동의 직·간접적 영향도 높아진다. 그밖에 파편화는 고립과 연결성에서처럼 생물지리적 변화도 가져와 잔존 패치의 생물상 규모와 구성에 중요한 영향을 미친다. 여러 식생유형의 피복 양상 변화뿐만 아니라 잔존 지역의 자생종 보유능력에도 영향을 미친다(Primack, 2012).

한 종의 멸종은 다른 종의 멸종을 유발할 수 있다. 이들이 다른 종의 중요한 자원을 제공하는 경우에 이것은 불가피하다. 예를 들어 특화된 수분매개자나 산포매개체의 경우가 여기에 해당한다. 뉴질랜드에서 자이언트 독수리(*Harpagornis moorei* Haast)는 타조의 일종(Moa)을 거의 유일한 먹이로 삼아 살아 왔는데 마오리족의 사냥으로 타조 일종이 멸종하자 자이언트 독수리도 멸종한 것이 이러

한 사례가 된다(Cassels, 1984; Worthy, 1997; Holdaway, 1999; Holdaway and Jacomb, 2000; Lee *et al.*, 2013).

더 복잡한 상호작용이 멸종증폭현상을 가져올 수도 있다(Lee *et al.*, 2013). 핵심종의 수도 및 빈도 변화로 인한 식물상 및 동물상 조성의 극적이고 광범위한 변화를 가져온 예가 이를 입증하고 있다(Terborgh, 1988; Owen-Smith, 1989; Crooks and Soule, 1999; Jackson, 2001; Terborgh *et al.*, 2001). 예를 들면, 대형 포식자의 멸종으로 중형 포식자가 늘어나면 소형포식자에 대한 과도한 포식이 일어나면서 결과적으로 그들의 수도가 줄어들면서 절종 또는 나아가 멸종으로 이어질 수도 있다(Primack, 2012).

식생에서 유사한 사례가 우리나라 도시림에서 나타나고 있다. 만성적인 대기오염을 겪고 있는 도시림에서 교목층을 이루는 신갈나무가 대기오염의 영향으로 활력이 떨어지거나 쇠퇴징후를 보이면, 아교목층을 이루는 팔배나무(*Sorbus alnifolia* (Siebold & Zucc.) C.Koch)가 교목층 식물이 가하던 조절효과를 벗어나며 과도하게 번성해 빛을 차단하여 임상식생을 빈약하게 만들고 있다(Lee *et al.*, 2008, 2019).

외래종의 번성이 생태계 다양성 감소와 생태계 다양성을 이루어내는 경관요소의 질 저하를 가져온 사례가 있다. 서울의 도시림에서 조사한 결과에 따르면 생태계다양성이 외래종의 점유율과 역비례관계를 나타내었다. 이는 생태계 다양성 소실이 경관구조에 틈을 유발하여 외래종의 침입 통로로 기능하여 발생한 결과로 해석할 수 있다. 나아가 외래종의 번성이 멸종을 가져올 수 있고 멸종은 멸종증폭현상을 유발하여 생태다양성 감소에 크게 영향을 미칠 수 있다. 이런 점에서 생태계다양성 확보와 생태계다양성 구성요소의 질 확보는 생물다양성 보존의 핵심요소로 볼 수 있다(Naveh, 1994; Gaston and Spicer, 2004; CBD, 2010; Sodhi and Ehrlich, 2010; Primack, 2012).

### 3. 인간 활동의 축소에 따른 감소

인간 활동의 축소에 따른 감소는 인간 활동과 개발에 따른 감소와는 반대로 자연과 인간 사이의 관계가 축소됨에 따른 영향이다. 땀감림이나 농용림 등의 2차림, 채초지 등의 2차 초원은 이전에는 경제활동에 필요한 것으로서 지속적으로 유지되어 왔다. 이처럼 사람의 손이 닿았던 지역은 그 환경 특유의 다양한 생물이 존재했었다. 또한 범람원 등 자연의 교란을 받아 왔던 지역도 생물의 번식 및 생육지로서 중요한 역할을 한다(Hong and Lee, 1998; Lee and Hong, 1998; Lee *et al.*, 1998c, 1999, 2000; Lee and You, 2001; Lee and Hong, 2001; An *et al.*, 2019).

그러나 인구감소 및 고령화가 가속화 되어 농업 형태나 생활양식의 변화가 뚜렷해진 지역에서는 인간 활동 축소에 따른 생물다양성 감소 위협이 계속되고, 그러한 면적이 확대되고 있다. 인간에 의한 다양한 형태의 교란에 의해 모자이크형태로 복잡하게 얽혀있던 생태계가 교란을 받지 않게 됨에 따라 생물다양성을 잃게 되어 지역 자연 속에서 번식하고 생육해왔던 동·식물이 멸종 위기 종으로 변해가고 있다(Hong and Lee, 1998; Lee and Hong, 1998; Lee *et al.*, 1998a, b, c, 1999, 2000; Lee and You, 2001; Lee and Hong, 2001; An *et al.*, 2019).

한편, 지역 자연을 중심으로 멧돼지(*Sus scrofa* Linnaeus), 고라니(*Hydropotes inermis* Swinhoe) 등 일부의 중·대형 포유류의 개체 수나 분포지역이 현저히 증가되고 확대되어 심각한 농업 피해를 입히는 등 생태계에 영향을 끼치고 있다. 이 문제에 대해서는 현재의 사회·경제 상황에 근거하여 대상지역의 자연적, 사회적 특성에 따라 보다 효과적인 보전, 관리 시스템을 마련할 필요가 있다(KFS, 2012).

### 4. 인간에 의해 유입된 종 및 화학물질에 의한 감소

유사 이래 인간 활동은 의도적으로 또는 우연히 많은 자연적 확산 장벽을 무너뜨리면서 생물종을 그들이 본래 살지 않던 곳으로 이주시켜 왔다. 그 결과 오늘날 외래종은 많은 자연보전지역에도 널리 퍼져 있다(Lonsdale, 1999). 그러한 생물종의 이동은 인적, 물적 교류가 다양해지고 활발해지면서 계속 늘어나고 있다(Vitousek *et al.*, 1997; Lonsdale, 1999; Baskin, 2002; Lockwood *et al.*, 2013).

도입종의 10%가 정착되고, 정착된 종의 10%는 해로운 생물이 된다(Williamson, 1996). 일찍이 Elton (1958)은 외래종 침입이 ‘세계의 동·식물상에 커다란 재난 중 하나’로 기술한 바 있다. 도입종은 영양염류 체제, 화재 체제, 수리 및 에너지 수치, 식생 및 서식지 변화를 가져와 궁극적으로 멸종에 이르게 한다(Williamson, 1996). 미국의 경우는 위기에 처한 종의 거의 절반 정도가 외래종의 영향 때문으로 그들을 지구적 차원의 변화를 유발하는 매개체로 보고 있다(Wilcove *et al.*, 1998).

인간에 의해 유입된 종에 의한 생물다양성 감소요인으로는 우선 외래종에 의한 생태계의 교란을 꼽을 수 있다. 야생생물 본래의 이동능력을 넘어서 인위적으로 국외 또는 국내의 다른 지역으로부터 도입된 외래종이 지역 고유의 생물상이나 생태계에 커다란 위협이 되고 있다. 특히 다른 지역과 교류가 힘든 크고 작은 섬 등에서는 외래종이 기존 생물상과 생태계를 크게 변화시킬 우려가 있다(Lee

et al., 2010; Lockwood et al., 2013).

외래종 문제에 대해서는 ‘생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률’에 근거하여 수입, 사육 등의 규제가 시작되었지만 이미 국내에 정착된 외래종의 해결에는 많은 시간과 노력이 필요하다. 외래 생물법에 의한 규제가 확보될 필요가 있다. 자재나 다른 생물에 붙어 의도하지 않게 들어온 생물과 국내 타 지역에서 보전 상 중요한 지역 및 섬으로도 입된 생물 등도 생물다양성에 커다란 위협이 된다. 이러한 위협에 대해서도 침입 방지, 침입 초기단계에서의 발견과 대응, 정착한 외래종의 퇴치 및 관리 등의 대책을 추진할 필요가 있다(JME, 2012; Lockwood et al., 2013).

또한 그 영향에 대해 잘 알려져 있지 않은 화학물질에 의한 생태계의 피해도 우려된다. 화학물질의 개발, 보급은 20세기에 들어 급속히 진행되어 현재 생태계가 많은 화학물질에 장기간 노출되고 있다. 그 중에는 생태계의 영향이 지적되고 있는 물질도 있다. 그 외의 화학물질이라도 생태계의 영향이 확인되지 않는 것들이 많이 있어 우리가 인식하지 못하는 사이에 생태계에 영향을 주게 될 우려도 있다. 따라서 야생생물의 변화 및 그 징후를 알아차릴 수 있도록 적극적인 노력을 기울여야 한다. 그리고 이와 동시에 화학물질에 의한 생태계의 영향에 대해서 적절한 위해성 평가를 실시하고 관리를 하는 것도 중요하다(JME, 2012).

### 5. 기후변화가 생물다양성에 끼치는 영향

기후변화가 가속화됨에 따라 생태계의 교란과 종의 멸종 등을 통해 생물다양성에도 심각한 영향을 끼치게 될 것으로 예측되고 있다(Hardy, 2003). 기온상승으로 인해 생물의 개화 및 열매 맺는 시기, 분포지역 등에 변화가 생기는 것뿐만 아니라 변화 속도가 종과 분류군에 따라 다르기 때문에 포식, 곤충에 의한 수분, 새에 의한 종자 산포, 새의 번식 시기와 먹이인 곤충의 발생 시기가 어긋나 새의 번식 및 성장률 저하로 개체수가 감소하는 등 생물 간 상호관계에 문제가 발생할 가능성이 높아진다(Lim et al., 2018, 2019, 2020; Jung et al., 2020).

앞으로 기후변화가 계속 진행된다면 더 많은 종이 멸종 위협에 처할 것으로 예측되고 있다. 산호초의 경우, 약 1~3°C의 해수면온도 상승으로 백화현상 및 광범위한 사멸이 빈번히 발생할 수 있다고 예측되고 있다(Greipsson, 2011).

또한 개개 생물의 번식에 영향을 끼친다는 예도 보고되고 있다. 예를 들면 북극곰(*Ursus maritimus* Phipps)은 기후변화로 인해 해빙 위에서 숨을 쉬기 위해 수면 밖으로 얼굴을 내미는 바다표범류(*Phoca* spp.)를 사냥하기 때문

에 얼음으로 덮인 바다는 생존을 위해 중요한 조건이 된다. 하지만 캐나다의 헨더슨만에서 조사한 결과에 따르면 헨더슨만에 서식하는 북극곰은 암컷과 수컷이 모두 해빙이 녹으면 먹이 사냥에 지장을 초래하여 건강이 악화되고(체표면적당 체중 감소) 출산 수가 감소된 사실이 보고되고 있다. 그 원인으로 1975년 이후 얼음이 녹는 속도가 서서히 빨라짐에 따라 바다표범을 포획하는 시간이 길어져 충분한 영양을 섭취하지 못했을 가능성이 제기되고 있다. 이에 국제 자연보호 연합(IUCN)은 2006년 북극곰을 멸종 위기종으로서 레드리스트에 기재하였다(Derocher et al., 2004; Thiemann et al., 2008).

이와 같이 세계적으로는 기후변화가 생물다양성에 미친 영향이 많이 알려져 있지만(An et al., 2016c), 우리나라에서 밝혀진 영향은 아직 많지 않다. 그러나 지구온난화와 관련이 있다고 여겨지는 많은 사례들이 속속히 나오고 있다. 봄의 전령인 벚나무(*Prunus serrulata* var. *spontanea* (Maxim.) E.H.Wilson)의 개화 시기는 최근 100년 만에 약 2주 정도 빨라진 것으로 나타나고(Song and Lee, 2014), 새의 번식시기가 빨라지거나(Lee et al., 2011b) 열대나 아열대에 서식하는 곤충이나 새의 출현도 잦아지고 있다(Kløve et al., 2014). 따라서 지구온난화가 생물다양성에 미치는 영향을 파악하는데 주력하고 그 피해의 최소화와 대응책을 생물다양성의 관점에서 검토해 나갈 필요가 있다(Lee, 2014).

생물종 및 생태계는 과거에도 기후변화 등의 환경 변화를 경험하였으며 이러한 변화에 적응하며 진화를 이룩해 왔다. 하지만 현재 일어나고 있는 온실가스의 인위적인 증가로 인한 급속한 기후 변화는 생물종이나 생태계가 적응할 수 있는 속도를 훨씬 웃돌아 많은 종의 멸종을 포함하여 대규모 영향을 미치게 될 것이다(Primack, 2012).

따라서 지구온난화가 생물다양성에 미치는 영향을 파악하기 위해 계속적인 모니터링과 이를 위한 조사 체계의 확립이 중요하다(ESK, 2014). 그러한 과정을 통해 파악한 영향과 앞으로 예측된 영향에 대응할 수 있도록 환경 변화에 대한 적응력을 높이고, 지역 고유의 건전한 생태계의 보전, 복원을 추진해 나가야 한다. 나아가 각각의 종 및 생태계는 온난화의 영향에 대한 취약성 및 적응력이 각기 다르기 때문에 다양한 종 및 생태계가 서서히 지구온난화에 적응하고 변화해 나갈 수 있도록 도와주는 것이 중요하다(Lee, 2016).

**저자 정보** 임봉순(서울여자대학교 생명환경공학과 대학원생), 김아름(서울여자대학교 생명환경공학과 대학원생), 김

동욱 (서울여자대학교 생명환경공학과 대학원생), 설재원 (서울여자대학교 생명환경공학과 대학원생), 이창석 (서울여자대학교 생명환경공학과 교수)

**저자기여도** 연구설계: 이창석, 현장조사: 임봉순, 김아름, 김동욱, 설재원, 이창석, 데이터 분석: 임봉순, 김아름, 김동욱, 설재원, 이창석, 원고 작성: 임봉순, 이창석, 원고 검토: 임봉순, 이창석

**이해관계** 본 연구는 이해관계의 충돌 여지가 없습니다.

**연구비** 이 논문은 서울여자대학교 교내연구비의 지원을 받았음 (2020-0152).

## REFERENCES

- An, J.H., C.H. Lim, Y.K. Lim, K.B. Nam, J.H. Pi, J.S. Moon, J.Y. Bang and C.S. Lee. 2015a. Development and Application of a Model for Restoring a Vegetation Belt to Buffer Pollutant Discharge. *Journal of Korean Society on Water Environment* **32**(2): 205-215.
- An, J.H., C.H. Lim, Y.K. Lim, K.B. Nam, J.H. Pi, J.S. Moon, J.Y. Bang and C.S. Lee. 2015b. Diagnosis on the Riparian Vegetation in the Downstream Reach of the Gyungan Stream for Creating Vegetation Belt. *Journal of Korean Society on Water Environment* **31**(6): 680-692.
- An, J.H., C.H. Lim, J.H. Jeong, A.R. Kim, D.M. Woo and C.S. Lee. 2016a. Diagnostic Evaluation on the Riparian Vegetation in the Changwon and Nam Streams for Preparing a Restoration Plan. *Journal of Korean Society on Water Environment* **32**(5): 475-491.
- An, J.H., C.H. Lim, Y.K. Lim, K.B. Nam, J.H. Pi and C.S. Lee. 2016b. A Plan for Utilizing the Buffering Vegetation based on the Landuse Type. *Journal of Korean Society on Water Environment* **32**(5): 465-474.
- An, J.H., C.H. Lim, J.H. Jung, A.R. Kim and C.S. Lee. 2016c. Effects of climate change on biodiversity and measures for them. *Journal of Wetlands Research* **18**(4): 474-480.
- An, J.H., C.H. Lim, Y.C. Cho and C.S. Lee. 2019. Early recovery process and restoration planning of burned pine forests in central eastern Korea. *Journal of Forestry Research* **30**(1): 243-255.
- Baskin, Y. 2002. A plague of Rate and Rubber-vines: The Growing Threat of Species Invasions. Island Press, Washington, DC.
- Bradley, J.C., J.E. Duffy, A. Gonzalez, D.U. Hooper, C. Perrings, P. Venail, A. Narwani, G.M. Mace, D. Tilman, D.A. Wardle, A.P. Kinzig, G.C. Daily, M. Loreau, J.B. Grace, A. Larigauderie, D.S. Srivastava and S. Naeem. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* **486** (7401): 59-67.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. The Nature and Properties of Soils, 14th ed., 965p, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Cassels, R. 1984. The role of prehistoric man in the faunal extinctions of New Zealand and other Pacific islands. p. 741-767. *In: Quaternary Extinctions: A Prehistoric Revolution* (Martin, P.S. and R.G. Klein, eds.). Arizona University Press, Tucson.
- Chapin III, F.S., E.S. Zavaleta, V.T. Eviner, R.L. Naylor, P.M. Vitousek, H.L. Reynolds, D.U. Hooper, S. Lavorel, O.E. Sala, S.E. Hobbie, M.C. Mack and S. Díaz. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* **405**: 234-242.
- Crooks, K.R. and M.E. Soule. 1999. Mesopredator release and avifaunal extinctions in a fragmented system. *Nature* **400**: 563-566.
- Derocher, A.E., N.J. Lunn and I. Stirling. 2004. Polar bears in a warming climate. *Integrative and Comparative Biology* **44**(2): 163-176.
- Diamond, J.M. 1984. 'Normal' extinctions of isolated populations. p. 191-246. *In: Extinctions* (Nitecki, M.H., ed.). University of Chicago press, Chicago.
- Ecological Society of Korea (ESK). 2013. Preparing a Master Plan for operating Biological Diversity Center of the National and Ministry of Environment. Ecological Society of Korea, Seoul.
- Elton, C. 1958. The Ecology of Invasion by Animals and Plants. Methuen, London.
- Gaston, K.J. and J.I. Spicer. 2004. Biodiversity: An Introduction. Wiley. ISBN 978-1-4051-1857-6.
- Harrison, I.J. and M.L.J. Stissny. 1999. The quiet crisis: a preliminary listing of the freshwater fishes of the world that are extinct or 'missing in action'. p. 271-331. *In: Extinctions in Near Time* (MacPhee, R.D.E., ed.). Kluwer Academic/Plenum, New York.
- Holdaway, R.N. 1999. Introduced Predators and avifaunal extinction in New Zealand. p. 189-238. *In: Extinctions in Near Time: Cause, Contexts, and Consequences* (MacPhee, R.D.E. ed.), Kluwer Academic/Plenum, New York.
- Holdaway, R.N. and C. Jacomb. 2000. Rapid extinction of the moas (Aves: Dinornithi formes): model, test, and implications. *Science* **287**: 2250-2254.
- Hong, S.K. and C.S. Lee. 1997. A Study on the Landscape Ecology in Green Belt Area of Seoul. The Journal of landscape ecology, *In: The Development and Prospect of Landscape Ecology as Interdisciplinary Research*, pp. 1-14.
- Hong, S.K. and C.S. Lee. 1997. Development and roles of landscape ecology as an emerging opportunity for ecology. *Korean Journal of Ecology* **20**(3): 217-227.
- IUCN. 2006. IUCN Red List of Threatened Species 2006. <https://www.iucn.org/> [Accessed: 2020-12-04].
- Jackson, J.B.C. 2001. What was natural in the coastal oceans? *Proceedings of the National Academy of Sciences* **98**: 5411-5418.



- Japanese Ministry of Environment (JME). 2012. National Strategy for Biodiversity. Japanese Literature.
- Jung, S.H., B.S. Lim, A.R. Kim, J.W. Seol and C.S. Lee. 2018. Characteristics and Reference Information of Riparian Vegetation for Realizing Ecological Restoration Clasified by Reach of the River in Korea. *Journal of Korean Society on Water Environment* **34**(5): 447-461.
- Jung, S.H., B.S. Lim, A.R. Kim, D.U. Kim, J.W. Seol and C.S. Lee. 2019. Classification, Analysis on Attributes and Sustainable Management Plan of Biotop Established in Pohang City. *Korean Journal of Ecology and Environment* **52**(3): 258-278.
- Jung, S.H., A.R. Kim, J.H. An, C.H. Lim, H.S. Lee and C.S. Lee. 2020. Abnormal shoot growth in Korean red pine as a response to microclimate changes due to urbanization in Korea. *International Journal of Biometeorology*. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01843-6>.
- Kang, S.J. and C.S. Lee. 1991. Structure, Dynamics and Ecological Restoration of Forest vegetation in Mt. Songni. *The Report of the KACN* **29**: 123-148.
- Kløve, B., P. Ala-Aho, G. Bertrand, J.J. Gurdak, H. Kupfersberger, J. Kværner, T. Muotka, H. Mykrä, E. Preda, P. Rossi, E. Velasco, M. Pulido-Velazquez and C.B. Uvo. 2014. Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems. *Journal of Hydrology* **518**: 250-266.
- Kong, W.S. 1989. The biogeographic divisions of Korea and their species composition. *Journal of the Korean Geographical Society* **24**(2): 43-54.
- Koo, K.A., W.S. Kong and J.K. Kim. 2001. Distribution of Evergreen Broad-leaved Plants and Climatic Factors. *Journal of the Korean Geographical Society* **36**(3): 247-257.
- Korea Forest Service (KFS). 2012. A study on characteristics forest environment and of wildlife due to forest manipulation. Korea Forest Service, Daejeon.
- Korea Forest Service (KFS). 2015. Forest Basic Statistics. [https://www.forest.go.kr/kfswb/cop/bbs/selectBoardList.do?mn=NKFS\\_04\\_05\\_10&pageIndex=1&pageUnit=10&searchtitle=title&searchcont=&searchkey=&searchwriter=&searchdept=&searchWrd=&ctgryLrcls=CTGRY070&ntcStartDt=&ntcEndDt=&bbsId=BBSMSTR\\_1016](https://www.forest.go.kr/kfswb/cop/bbs/selectBoardList.do?mn=NKFS_04_05_10&pageIndex=1&pageUnit=10&searchtitle=title&searchcont=&searchkey=&searchwriter=&searchdept=&searchWrd=&ctgryLrcls=CTGRY070&ntcStartDt=&ntcEndDt=&bbsId=BBSMSTR_1016) [Accessed: 2020-12-04].
- Korea Institute of Geoscience and mineral resources (KIGAM). 2007. KIGAM. <https://www.kigam.re.kr/main/> [Accessed: 2020-12-04].
- Korea Land and Housing Corporation (KLH). 2018. Urban planning status. <http://upis.go.kr/upispweb/statsmgmt/viewListstidown.do> [Accessed: 2020-12-04].
- Korean National Geographic Information Institute (KNGII). 2020. Korea National Spatial Data Infrastructure Portal. <http://data.nsdg.go.kr/organization/a05016> [Accessed: 2020-12-04].
- Kumar, P. 2010. The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations. UNEP/Earthprint. London.
- Kwon, S.C., J.H. Kim, E.H. Lee and C.Y. Jung. 2016. Geography of Korea. Seoul selection. Seoul. 273 p.
- Lee, C.S. 1989. A study on the succession of Pine forests damaged by pine gall midge. Ph.D Thesis. Seoul National University.
- Lee, C.S. 2014. Climate change adaptation realizing through the ecological restoration. In: Lee CS (ed) Climate change and ecology: series of long term ecological research 7. Seochon, NIE, pp. 165-180.
- Lee, C.S. 2016. Role and task of restoration ecology in changing environment: Trends and issues in academic study, Biology. *The National Academy of Sciences* **5**: 481-527 (Korean literature).
- Lee, C.S. and H.J. Cho. 1998a. Ecological diagnosis and development of ecological management system of urban forest on Mt. Hwangryung in Pusan, Korea. *Korean Journal of Ecology* **21**: 779-789.
- Lee, C.S. and H.J. Cho. 1998b. Landscape structure and ecological restoration of Mt. Hwangryung in Pusan, Korea. *Korean Journal of Ecology* **21**: 791-797.
- Lee, C.S. and S.K. Hong. 1998. Changes of landscape pattern and vegetation structure in rural area disturbed by fire. *Korean Journal of Ecology* **21**: 389-399.
- Lee, C.S. and S.K. Hong. 2001. Landscape ecological perspectives in the structure and dynamics of fire-disturbed vegetation in a rural landscape, eastern Korea. p. 81-94. In: Landscape ecology applied in land evaluation, development and conservation. Some worldwide selected examples (van der Zee, D. and I.S. Zonneveld, eds.). ITC publication number 81, IALE publication MM-1.
- Lee, C.S. and Y.H. You. 2001. Cultural Landscape of Korea, Its Entity, Changes and Values Evaluation from New Paradigm. *Korean Journal of Ecology* **21**: 323-332.
- Lee, C.S., H.J. Cho, J.S. Moon, J.E. Kim and N.J. Lee. 1998a. Ecological diagnosis on Mt. Nam in Seoul, Korea. *Korean Journal of Ecology* **21**: 713-721.
- Lee, C.S., H.J. Cho, J.S. Moon, J.E. Kim and N.J. Lee. 1998b. Restoration and Landscape Ecological Design to Restore Mt. Nam in Seoul, Korea as an Ecological Park. *Korean Journal of Ecology* **21**: 723-733.
- Lee, C.S., S.K. Hong and Y.H. You. 1998c. Landscape ecological studies on green-belt zone in the Metropolitan area of Seoul, Korea. The first landscape ecology forum "Landscape ecology: principle, concept and application" Proceedings. pp. 9-25.
- Lee, C.S., S.K. Hong and J.M. Oh. 1999. Technology for restoration Natural environment. Donghwagisul, Seoul. Korean Literature.
- Lee, C.S., J.S. Moon and J.E. Kim. 2000. Landscape changes caused by forest fire and vegetation regeneration processes. *Proceedings IAVS Symposium* pp. 99-103.
- Lee, C.S., A.N. Lee and Y.H. You. 2001. Landscape structure

- and relationship between water quality and land use pattern in the watershed of the Wangsuk river in Gyeonggi-do, Korea. *Korean Journal of Ecology* **24**: 253-258.
- Lee, C.S., J.S. Moon and Y.C. Cho. 2007. Effects of soil amelioration and tree planting on restoration of an airpollution damaged forest in south Korea. *Water, Air and Soil Pollution* **179**: 239-254.
- Lee, C.S., J.S. Moon, H.S. Woo, H.G. Ahn, G.H. Cho, Y.S. Bae and H.G. Byun. 2006. An analysis on landscape structure and biodiversity of the Bokha River as a model to restore the degraded urban river. *Journal of Ecology and Field Biology* **29**: 113-124.
- Lee C.S., Y.C. Cho and A.N. Lee. 2008. Restoration planning for the Seoul Metropolitan Area, Korea. p. 393-419. *In: Ecology, Planning, and Management of Urban Forests: International Perspectives* (Carreiro, M.M., Y.C. Song and J. Wu, eds.). Springer, New York.
- Lee, C.S., Y.C. Cho, H.C. Shin, G.S. Kim and J.H. Pi. 2010. Control of an invasive alien species, *Ambrosia trifida* with restoration by introducing willows as a typical riparian vegetation. *Journal of Ecology and Environment* **32**(3): 207-215.
- Lee, C.S., T.C. Rhyu and E. Jeong. 2011a. A Consideration on IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) and Ecosystem Services as a Core Subject of the Organization. *Restoration Ecology* **2**: 73-78 (Korean literature).
- Lee, C.S., K.S. Lee, H. Yi, Y.H. You, K.D. Kim, J.H. Park, S.H. Jeong, J.G. Kim, Y.C. Cho, H.T. Moon, K.J. Cho and T.C. Rhyu. 2013. Restoration Ecology; advanced field of ecology. Life Science Pub, Seoul.
- Lee, C.S., Y.M. Chun, H. Lee, J.H. Pi and C.H. Lim. 2018. Establishment, Regeneration, and Succession of Korean Red Pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) Forest in Korea. In *Conifers*. IntechOpen.
- Lee, C.S., S.H. Jung, B.S. Lim, A.R. Kim, C.H. Lim and H.S. Lee. 2019. Forest decline under progress in the urban forest of Seoul, Central Korea. In *deforestation around the world*. IntechOpen.
- Lee, C.S., H. Lee, A.R. Kim, J.H. Pi, Y.J. Bae, J.K. Choi, W.S. Lee and J.S. Moon. 2020. Ecological effects of daylighting and plant reintroduction to the Cheonggye Stream in Seoul, Korea. *Ecological Engineering* **152**: 105879.
- Lee, H.S., H.M. Yoo and C.S. Lee. 2003. Distribution pattern of white snakeroot as an invasive alien plant and restoration strategy to inhibit its expansion in Seoripool park, Seoul. *Korean Journal of Biology Science* **7**: 197-205.
- Lee, H.W. and C.S. Lee. 2006. Environmental factors affecting establishment and expansion of the invasive alien species of tree of heaven (*Ailanthus altissima*) in Seoripool Park, Seoul. *Integrative Biosciences* **10**: 27-40.
- Lee, J.K., O.K. Chung and W.S. Lee. 2011b. Altitudinal Variation in Parental Provisioning of Nestling Varied Tits (*Poecile varius*). *The Wilson Journal of Ornithology* **123**: 283-288.
- Lee, J.T. 2000. Climate Characteristics of Korea. Korean Society of Soil Sciences and Fertilizer. *Soil and Fertilizer* **1**:84-93.
- Lee, S.H., I.H. Heo, K.M. Lee and W.T. Kwon. 2005. Classification of Local Climatic Regions in Korea. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **41**(6): 983-995.
- Lee, S.R. and K.O. Cho. 2012. Precambrian crustal evolution of the Korean Peninsula. *The Journal of the Petrological Society of Korea* **21**(2), 89-112.
- Lee, W.T. and Y.J. Yim. 2002. Plant Geography. Kangwon National University. Korea. 412 pp (in Korean).
- Lim, C.H., J.H. An, S.H. Jung, G.B. Nam, Y.C. Cho, N.S. Kim and C.S. Lee. 2018. Ecological consideration for several methodologies to diagnose vegetation phenology. *Ecological Research* **33**(2): 363-377.
- Lim, C.H., S.H. Jung, N.S. Kim and C.S. Lee. 2019. Deduction of a meteorological phenology indicator from reconstructed MODIS LST imagery. *Journal of Forestry Research* **31**(6): 2205-2216. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-01015-7>.
- Lim, C.H., S.H. Jung, A.R. Kim, N.S. Kim and C.S. Lee. 2020. Monitoring for Changes in Spring Phenology at Both Temporal and Spatial Scales Based on MODIS LST Data in South Korea. *Remote Sensing* **12**(20): 3282.
- Lim, J. and T. Lim. 2018. Analysis of biodiversity and ecological characteristics on Tamjin-river estuarine ecosystem. *Journal of Wetlands Restoration* **20**(2): 181-189.
- Lim, Y.J., G.S. Baek and N.J. Lee. 1991. Vegetation of Mt. Halla. Jungang Univ Pub, Seoul.
- Lockwood, J.L., M.F. Hoopes and M.P. Marchetti. 2013. *Invasion Ecology*. 2nd Ed. Wiley-Blackwell.
- Lonsdale, W.M. 1999. Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility. *Ecology* **80**: 1522-1536.
- MacArthur, R.H. and E.O. Wilson. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press. New Jersey.
- McGlone, M.S. 1983. Polynesian deforestation of New Zealand: a preliminary synthesis. *Archaeology in Oceania* **18**: 11-25.
- Middelkoop, H., K. Daamen, D. Gellens, W. Grabs, J.C.J. Kwaijk, H. Lang, B.W.A.H. Parmet, B.W.A.H. Schädler, J. Schulla and K. Wilke. 2001. Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine Basin. *Climatic Change* **49**: 105-128.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. *Ecosystem and human well-being: synthesis*. MEA MEA - Island, Washington, DC.
- Ministry of Environment (MOE). 2010. *A Study on the Classification and Restoration Manual of Wetlands by Type and Grade of National Wetlands*. Ministry of environment: 239 p.
- Ministry of Environment (MOE). 2013. *Develop Master Plan for the Operation of the Biodiversity Center*. Ministry of environment: 256 p.

- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF). 2015. Coastal Basic Survey. Ministry of Oceans and Fisheries: 285 p.
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF). 2018. Marine Environment Information. <https://www.meis.go.kr/portal/main.do> [Accessed: 2020-12-04].
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF). 2019. 2nd Basic Plan for Conservation and Management of Marine Ecosystem (2019~2028). Ministry of Oceans and Fisheries: 109 p.
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF). Statistics System of Oceans and Fisheries. <https://www.mof.go.kr/statPortal/main/portalMain.do> [Accessed: 2020-12-04].
- Naeem, S., J.M.H. Knops, D. Tilman, N.M. Haddad, C.E. Mitchell, J. Haarstad, M.E. Ritchie, K.M. Howe, P.B. Reich, E. Siemann and J. Groth. 1999. Effects of plant species richness on invasion dynamics, disease outbreaks, insect abundances and diversity. *Ecology Letters* **2**(5): 286-293.
- National institute of agricultural sciences (NIAS). 2005. Soil Chemical Properties. <https://soil.rda.go.kr/soil/soilact/characterize.jsp> [Accessed: 2020-12-04].
- Naveh, Z. 1994. From Biodiversity to Ecodiversity: A Landscape-Ecology Approach to Conservation and Restoration. *Restoration Ecology* **2**: 180-189.
- Noss, R.F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology* **4**(4): 355-364.
- Owen-Smith, N. 1989. Megafaunal extinctions: the conservation message from 11,000 years B.P. *Conservation Biology* **3**: 405-412.
- Primack, R.B. 2012. A primer of conservation biology. Fifth ed. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (CBD). 2010. Global Biodiversity Outlook 3. Montréal, 94 p.
- Seoul. 1997. First Forest Ecosystem Survey Report. Seoul. 492 p.
- Seoul. 1998. Forest Ecosystem Survey Report. Seoul. 455 p.
- Shin, J.H. 1996. Korea's Ecosystem Classification (I): Ecological Area Classification. The Korea Forestry Research Institute's. *Journal of Forest Science* **54**: 188-189.
- Sodhi, N.S. and P.R. Ehrlich. 2010. Conservation Biology for All. Oxford University Press. UK.
- Song, H.G. and C.S. Lee. 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.
- Terborgh, J. 1988. The big things that run the world - a sequel to E.O. Wilson. *Conservation Biology* **2**: 402-403.
- Terborgh, J., L. Lopez, V.P. Nunez, M. Rao, G. Shahabuddin, G. Orihuela, M. Riveros, R. Ascanio, G.H. Adler, T.D. Lambert and L. Ballbas. 2001. Ecological meltdown in predator-free forest fragments. *Science* **294**: 1923-1926.
- Thiemann, G.W., S.J. Iverson and I. Stirling. 2008. Polar bear diets and arctic marine food webs: insights from fatty acid analysis. *Ecological Monographs* **78**(4): 591-613.
- Vitousek, P.M., C.M. D'Antonio, L.L. Loope, M. Rejmanek and R. Westbrooks. 1997. Introduced species: a signification component of human-caused global change. *New Zealand Journal of Ecology* **21**: 1-16.
- Wilcove, D.S., D. Rothstein, J. Dubow, A. Phillips and E. Losos. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. *Bio-Science* **48**: 607-615.
- Williamson, M. 1996. Relationship of species number to area, distance and other variables. p. 91-115. In: Analytical Biogeography: An Integrated Approach to the Study Animal and Plant Distributions (Giller, P.S. and A.A. Myers, eds.). Chapman & Hall, London.
- Worthy, T.H. 1997. What was on the menu? Avian extinction in New Zealand. *New Zealand Journal of Archaeology* **19**: 125-160.
- Yim, Y.J. 1977. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsula: IV. Zonal distribution of forest vegetation in relation to thermal climate. *Japanese Journal of Ecology* **27**(4): 269-278.
- Yim, Y.J., K.S. Paik and N.J. Lee. 1991. The vegetation of Mt. Halla: A study of flora and vegetation. Chung-Ang University Press, Seoul.