

국내 IUCN Red List of Ecosystem(생태계 적색목록) 평가를 위한 국제 사례 연구와 전략 제시

한상학 · 강성룡**

국립생태원 기후탄소연구팀

International Case Study and Strategy Proposal for IUCN Red List of Ecosystem(RLE) Assessment in South Korea

Sang-Hak Han · Sung-Ryong Kang**

Climate Change and Carbon Research Team, National Institute of Ecology, Seoecheon 33567, Republic of Korea

(Received : 10 November 2023, Revised : 14 November 2023, Accepted : 21 November 2023)

요약

IUCN 생태계 적색목록은 생물다양성의 감소 위험이 높은 생태계를 평가하고 식별하기 위한 글로벌 표준으로, 효과적인 생태계 관리 및 보전 정책 수립에 필요한 과학적 근거를 제공한다. IUCN 생태계 적색목록은 쿤밍-몬트리올 글로벌 생물다양성 프레임워크 목표 A의 핵심지표(A.1)로 지정하였다. 생태계 적색목록 평가는 특정 생태계 유형을 분포의 감소(기준 A), 제한된 분포(기준 B), 환경 황폐화(기준 C), 생물학적 상호작용의 변화(기준 D), 생태계 붕괴 위험의 정량적 추정(기준 E)으로 생태계 붕괴 징후를 판별한다. IUCN 생태계 적색목록은 2014년부터 110개 이상의 국가에서 평가를 진행하였다. 80% 이상이 육상 및 육상-담수 생태계에서 평가를 진행하였으며, 이중 열대림과 아열대림에 위협 받는 생태계가 집중 분포하고 있다. 평가 기준은 공간적 징후(기준 A 및 B)에서 68.8%로 집중되어 있다. 국내에서 생태계 적색목록을 평가를 적용하기 위한 고려사항은 크게 세가지로 나뉜다. 첫째, 국내 적용 가능한 지구 생태계 유형(GET)을 적립해야 한다. 둘째, 생태계 적색목록 범주기준 중 공간적 징후 평가에서 국내의 소규모로 이루어진 다양한 생태계 유형에 적용 가능한지를 판단해야 한다. 마지막으로 평가를 위한 활용 가능한 시계열(50년) 데이터 수집을 고려해야 한다. 이러한 고려사항을 바탕으로 국내에 IUCN 생태계 적색목록 평가를 적용하면, 우리나라의 독특한 생태계 유형의 현재 상태를 정확하게 파악할 수 있을 것이며, 이는 세계적인 생태계 보전 및 복원 노력에 기여할 것이다.

핵심용어 : 생태계 유형, 평가 단위, 소규모 생태계, 공간 규모

Abstract

The IUCN Red List of Ecosystems serves as a global standard for assessing and identifying ecosystems at high risk of biodiversity loss, providing scientific evidence necessary for effective ecosystem management and conservation policy formulation. The IUCN Red List of Ecosystems has been designated as a key indicator (A.1) for Goal A of the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. The assessment of the Red List of Ecosystems discerns signs of ecosystem collapse through specific criteria: reduction in distribution (Criterion A), restricted distribution (Criterion B), environmental degradation (Criterion C), changes in biological interaction (Criterion D), and quantitative estimation of the risk of ecosystem collapse (Criterion E). Since 2014, the IUCN Red List of Ecosystems has been evaluated in over 110 countries, with more than 80% of the assessments conducted in terrestrial and inland water ecosystems, among which tropical and subtropical forests are distributed ecosystems under threat. The assessment criteria are concentrated on spatial signs (Criteria A and B), accounting for 68.8%. There are three main considerations for applying the Red List of Ecosystems assessment domestically: First, it is necessary to compile applicable terrestrial ecosystem types within the country. Second,

*To whom correspondence should be addressed.

Change and Carbon Research Team, National Institute of Ecology, Korea
E-mail : srkang@nie.re.kr

• Sang-Hak Han Climate Change and Carbon Research Team, National Institute of Ecology, Korea / Researcher (hsh2334@nie.re.kr)
• Sung-Ryong Kang Climate Change and Carbon Research Team, National Institute of Ecology, Korea / Team Leader (srkang@nie.re.kr)

it must be determined whether the spatial sign assessment among the Red List of Ecosystems categories can be applied to the various small-scale ecosystems found domestically. Lastly, the collection of usable time series data (50 years) for assessment must be considered. Based on these considerations, applying the IUCN Red List of Ecosystems assessment domestically would enable an accurate understanding of the current state of the country's unique ecosystem types, contributing to global efforts in ecosystem conservation and restoration.

Key words : Ecosystem types, Assessment Units, Small-Scale Ecosystem, Spatial Scale

1. 서 론

생태계는 일반적으로 삶의 기본적인 요구를 충족시키는 서비스와 생산물을 제공하기 때문에 중요하다(Cardinale et al., 2012). 그러나 기후변화와 인간활동의 영향(Boisvenue and Running, 2006; MEA, 2005)으로 최근 몇 년간 전 세계의 자연 생태계는 우리의 일상 생활에 영향을 미치고 있다(Tan et al., 2017; Cardinale et al., 2012). 또한 생물다양성과 생태계 서비스는 사람과 자연의 건강에 필수적이다(Díaz et al., 2019). 그러나 현재 생물다양성 손실 속도는 우리가 알고 있는 속도보다 훨씬 더 빠르며 일반적으로 인류 역사상 그 어느 때보다 빠르게 생물다양성 감소가 이루어지고 있다(Chen et al., 2020; Díaz et al., 2019; Mace et al., 2018). 이러한 생물다양성 감소를 진단하기 위해 국제사회는 여러가지 평가 방법론을 개발하여 적용해 나가고 있다. 종 및 생태계 생물다양성 감소를 평가하기 위한 도구로서 IUCN(International Union for Conservation of Nature)은 위기종 적색목록(Red List of Threatened Species™)을 1960년대에 제정하였고, 1990년대에 정량적 접근 방식으로 개정되었으며(Mace and Lande 1991), IUCN 생태계 적색목록(Red List of Ecosystems, RLE)은 2007년부터 2013년까지 개발 기간을 거쳐 2014년 IUCN에서 생태계 생물다양성 위험 평가를 위한 글로

벌 표준으로 채택하였다(Bland et al., 2019; Bland et al., 2017; Keith et al., 2015).

IUCN 생태계 적색목록은 국제적으로 통일된 생태계를 모니터링하기 위해 개발되었다(Keith et al., 2015). 지속적으로 증가하고 있는 생물다양성 위험 평가를 위한 도구 중 하나로, 생물다양성 감소 위험이 가장 높은 생태계들을 식별함으로써 보전 자원관리에 관한 의사결정을 지원하는 것을 목적으로 한다(Bland et al., 2017). IUCN 생태계 적색목록은 모든 해양, 담수 및 육상 생태계 유형에 대한 생태계 붕괴 및 생물다양성 감소 위험을 평가하기 위한 글로벌 표준이다. RLE 평가는 생태계에 대한 표준화된 지식과 데이터를 수집 및 분석하여 생태계 붕괴의 상대적 위험을 추정하며, 이를 통해 위협받는 생태계를 식별한다(Nicholson et al., 2023). 또한 생태계의 분포 및 온전성(integrity)에 대한 지식과 데이터를 종합하고 상대적 위험을 평가하기 위한 체계적인 프레임 워크를 설정한다.

생물다양성 손실을 줄이기 위한 국제사회는 UN 생물다양성협약의 쿤밍-몬트리올 글로벌 생물다양성 프레임워크(Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework, KM GBF) 목표A의 핵심지표(A.1)로 지정하였다. 이처럼 국제사회에서도 RLE 평가는 국가 및 글로벌 수준에서 보고되는 높은 수준의 지표로 설정되어 중요성이 강조되어지고 있다(Nicholson et al., 2023). 또한 RLE 평가는 보

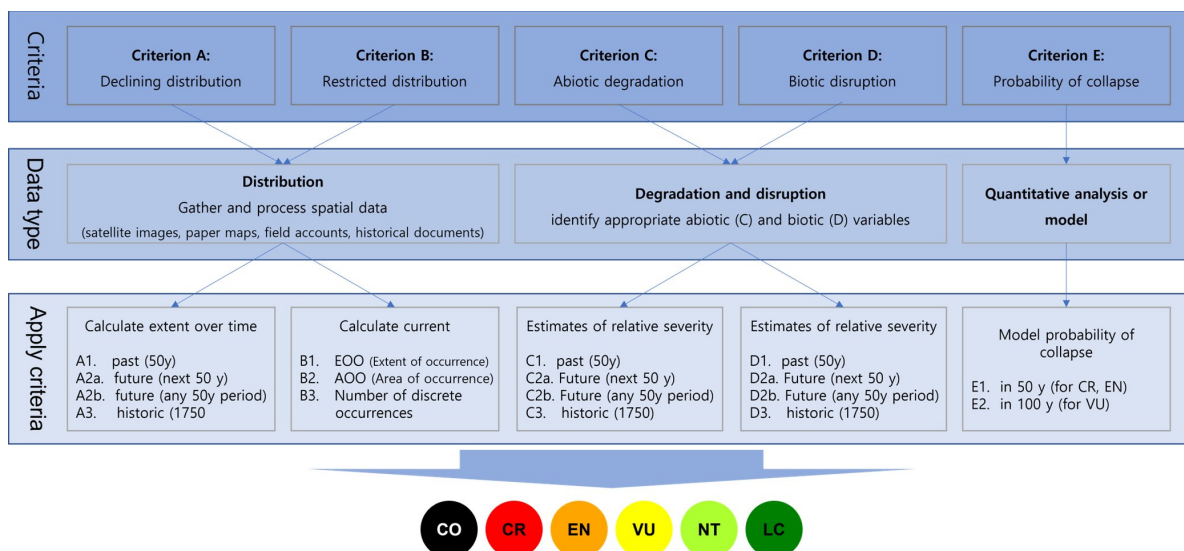


Fig. 1. Process for assessing the IUCN Red List of Ecosystems categories and criteria. The timeframes for evaluating of changes under criteria A, C and D. IUCN Red List of Ecosystems categories includes CO: Collapsed, CR: Critically Endangered, EN: Endangered, VU: Vulnerable, NT: Near Threatened and LC: Least Concern.

전법률, 토지 사용 계획, 생태계 관리에 활용될 수 있다.

국제사회는 KM GBF에서 채택된 세부목표 달성을 위한 전략을 준비중에 있다. 따라서, 우리나라도 RLE 평가에 적극적으로 기여할 수 있도록 전략을 마련할 필요성이 있다. 본 연구에서는 국외 RLE 평가 사례를 분석하고, 우리나라에 적용가능한 데이터 및 평가 방법을 분석하여 한계와 대응방안을 제안하고자 한다.

2. 생태계 적색목록 평가 방법

IUCN 생태계 적색목록 평가는 5개 범주로 구성되며, 해당 범주들은 특정 기준에 기반한다. 생태계 위험을 유발하는 과정은 다양하며, 이는 생태계 붕괴의 여러 징후를 통해 표현된다(Keith et al., 2015). 생태계 붕괴의 징후는 네 가지 유형에 초점을 맞추고 있다. 네 개의 메커니즘 중 두가지는 분포 징후를 포함하는데, (A) 생태계의 분포 감소로 해당 생태계에서 서식하는 생물상을 수용할 수 있는 능력이 감소되고, (B) 생태계의 제한적 분포로 인해 생태계가 공간적으로 명확한 위험에 노출된다. 또다른 두가지 메커니즘은 기능과 관련된 징후를 나타낸다. (C) 환경 황폐화로, 서식지 질 저하 및 생물상과 관련된 비생물적 환경(abiotic niche)의 다양성 감소, (D) 생물적 과정과 상호작용의 붕괴는 상리공생 감소, 생물적 환경(biotic niche)의 다양성 감소, 생태계를 구성하는 일부 생물상이 다른 생물상에 의해 배제되는 현상 등을 나타낸다. 이 네 가지 메커니즘 중 둘 이상의 상호작용은 생태계 붕괴로의 전환을 나타내는 추가적인 증거를 제공할 수 있다. 다중 메커니즘과 그 상호작용은 생태계 역학의 시뮬레이션 모델에 통합되어 (E) 붕괴 위험의 정량적 추정치를 종합적으로 평가할 수 있다. 이 네 가지 징후 그룹과 생태계 모델 통합은 생태계 적색목록 기준의 기초를 형성하고 있다. 이 같은 징후들을 생태계가 결정적인 특성을 손실할 위험을 둘러싼 메커니즘을 판별한다(Bland et al., 2017) (Fig. 1).

2.1. 평가 단위(Assessment unit)

평가 단위(Assessment Unit)의 세부 기술 및 정의는 평가 프로세스의 필수 요소이다(Rodríguez et al., 2015). 생태계 유형(Ecosystem type)은 생태계 적색목록을 평가하기 위한 평가 단위를 의미하며, 한 생태계 유형을 정의하는 4대 요소는 특징적인 고유 생물상, 비생물환경, 주요 천이상호작용, 공간분포로 구성되어 있다. 평가를 위해 선택한 단위가 별도의 생태계로 인식될 수 있는 이유를 정당화해야 한다. 선택한 평가단위를 인접-유사 생태계 유형과 별개의 생태계 유형으로 구분할 수 있는 근거를 밝혀야 하며, 동 생태계 유형을 다른 생태계 유형과 구분 짓는 주요 특성에 대해 서술해야 한다(Bland et al., 2017).

2.2. 평가 기준 A(분포 감소)

기준 A는 현재 규모가 감소하고 있거나 가까운 장래에 감소할 수 있는 생태계 유형을 식별하며, 적용을 위한 최

소한의 데이터는 서로 다른 시점에서 취해진 생태계 유형 분포로 평가한다(Rodríguez et al., 2015). 지리분포의 감소는 (1) 특징적인 고유 생물상을 유지하는 능력을 감소시키며, (2) 추가적인 위협에 의해 생태계 붕괴위험에 영향을 미친다(Keith et al., 2013). 지리분포 감소로 인한 특징적인 고유 생물상의 소멸은 수용력 감소, 생태지위 다양성 감소, 자원의 공간적 분할, 경쟁포식위험 가능성 증가 등에 의해 발생한다(Harpole and Tilman 2007; Mcknight et al., 2007; MacArthur and Wilson 2001; Hanski, 1998). 한 생태계 분포의 감소율은 해당 생태계가 붕괴 상태에 도달한 정도를 나타낸다. 일반적으로 해당 생태계 유형의 공간적 분포가 남아 있지 않을 때, 생태계가 붕괴된 것으로 본다(Bland et al., 2017).

2.3. 평가 기준 B(제한된 분포)

기준 B는 지리분포의 제한으로, 공간적으로 명확한 위협이나 재해에 직면했을 때의 붕괴 위험에 영향을 미친다(Keith et al., 2013). 일반적으로 넓게 분포하거나 여러 개의 독립적인 패치로 있는 생태계는 재해, 교란, 일정 정도의 공간적 감염 양상을 보이는 기타 위협들(예로 침입종, 오염, 화재, 산림사업, 수문변화, 지역 기후변화)로 인해 피해를 당할 위험이 상대적으로 낮다. 기준 B의 주요 역할은 분포가 너무 제한되어 단일 또는 몇 가지 상호작용하는 위협적인 사건의 우연한 발생으로부터 붕괴할 위험이 있는 생태계를 식별하는 것이다(Rodríguez et al., 2015). 기준 B를 적용하려면 출현범위(Extent of occurrence, EOO)와 점유면적(Area of occurrence, AOO) 2개의 표준화된 측정지표를 이용해서 평가한다(Gaston and Fuller 2009; Keith et al., 2013). 이 두개의 표준화된 지표는 개념적으로 생물종(Gaston and Fuller 2009) 및 생태계 지리범위 크기(Murray et al., 2017; Keith et al., 2013;)의 다른 측면을 나타낸다. EOO는 모든 출현을 포함하는 최소불록다각형(Minimum convex polygon, MCP)에 해당하는 하나의 연속적인 영역에 위험의 확산을 측정한다. 반면, AOO는 점유한 격자(10×10km²) 셀의 개수를 통한 점유한 패치 내에서의 위험 확산을 측정한다(Bland et al., 2017).

2.4. 평가 기준 C(환경 황폐화)

기준 C 환경 황폐화는 생태계 천이에서 결정적인 역할을 하는 물리비생물 특성의 황폐화 또는 생태계 유형의 분포 감소를 의미한다. 환경 황폐화는 특징적인 생물상을 유지할 수 있는 생태계의 능력이 감소하는 현상이다. 환경 황폐화를 평가하려면 해당 생태계 유형의 결정적인 특성을 나타내는 데 적합한 무생물 변수를 선정해야 한다. (1) 환경 황폐화 프로세스와 특징적인 고유 생물상 손실 사이의 인과(원인-영향) 관계가 존재한다는 타당한 증거가 존재해야 한다. (2) 황폐화 심각도 추정에 적합한 스칼라(scalar) 변수와 황폐화 범위 추정에 적합한 공간변수가 필요하다. 비생물/생물 변수의 기능적 쇠퇴를 평가할 때의 주요 개념

은 상대심각도(relative severity)이다. 상대심각도는 각기 다른 유형이 황폐화를 겪고 있는 생태계들의 위험을 서로 비교할 때 필수적이다(Bland et al., 2017).

2.5. 평가 기준 D(생물학적 상호작용의 변화)

기준 기준 D의 평가는 기준 C와 동일한 절차를 따르지만 생물 변수에 초점을 맞춘다. 생태계 내 생물상의 존속은 경쟁포식상리공생영양발병 프로세스, 종의 침입 등 생태 천이상호작용에 영향을 받는다. 평가를 위한 변수는 적합한 생물 변수를 사용한다는 점을 제외하고는 기준 C의 요건과 동일하다.

2.6. 평가 기준 E(생태계 붕괴 위험의 정량적 추정치)

기준 E는 두가지 목적을 갖는다. 첫째로 쇠퇴의 여러 메커니즘과 이들간의 상호작용을 위험평가에 통합하는 모델을 구현함으로써, 한 생태계 유형을 분류하는데 활용 가능하다. 둘째로는 멸종위기종 적색목록에서와 비슷하게 위험평가의 근거를 제공하면서 다른 기준들을 포괄하는 전체적인 프레임워크를 제공한다. 주요 생태계 프로세스를 통합한 확률 시뮬레이션 모델로 생태계 붕괴확률을 추정할 수 있다.

3. 생태계 적색목록 연구동향

IUCN 생태계 적색목록 평가는 2014년부터 110개 이상의 국가에서 4,000개 이상의 생태계 유형에 대한 평가를 진행하였다. 육상 생태계의 경우 63개국, 담수 생태계 42개국, 해양 생태계 32개국에서 평가가 이루어졌다(Nicholson et al., 2023).

현재까지 IUCN 생태계 적색목록은 509개의 생태계 유

형에 대한 평가 결과를 데이터베이스 웹사이트(<https://assessments.iucnrl.org/>, IUCN RLE)를 통해 제공하고 있다. 이 자료를 바탕으로 생태계 적색목록 평가 결과를 살펴보면, 전략적 평가(Strategic assessment) 9.3%(58개), 체계적 평가(Systematic assessment) 90.6%(565개)이며, 위험받는 생태계의 비율은 붕괴(Collapsed) 0.3%(2개), 위급(Critically endangered) 17.8%(91개), 위기(Endangered) 29.1%(148개), 취약(Vulnerable) 22.2%(113개)로 나타난다(Fig. 2 and 3). 생태계별로는 육상 생태계 72.8%(371개), 담수-육상 생태계 14.7%(75개), 해양-담수-육상 생태계 4.1%(21개), 해양-육상 생태계 3.9%(20개), 해양 생태계 2.5%(13개), 담수 생태계 1.1%(6개), 해양-담수 생태계 0.3%(2개), 지하 생태계 0.2%(1개) 순이었다. 생태계와 생태계 적색목록 카테고리들을 종합적으로 살펴보면, 육상 생태계와 담수-육상 생태계에서 87.5%로 평가를 하였으며, 44.0%가 T1(Tropical-subtropical forest)에서 RLE를 평가가 이루어졌다(Fig. 4). 이는 전 세계적으로 위험 받는 생태계가 열대림과 아열대림에 분포하고 있다는 것을 알 수 있다.

평가 기준별로는 공간적 징후(기준 A 및 B) 68.8%, 기능적 징후(기준 C 및 D) 29.2%, 정량적 리스크 분석(기준 E) 1.9%순으로 평가를 하였다. 각각의 기준별로는 분포의 감소를 평가하는 기준 A가 41.2%으로 가장 많이 평가하였고, 분포의 제한을 평가하는 기준 B가 27.2%, 생물학적 교란을 평가하는 기준 D가 17.1%, 환경 황폐화를 평가하는 기준 C가 13.5%의 순으로 나타났다. 평가 세부 기준별로는 기준 A2b(과거-현재-미래를 포함한 50년의 분포변화) 13.8%, 기준 B1(현재 분포 규모) 12.7%, 기준 A1(과거 50년의 분포 변화) 11.7%, 기준 A3(역사적 분포 변화) 11.1%, 기준 B2(현재 분포 면적) 10.6% 등의 순으로 평가

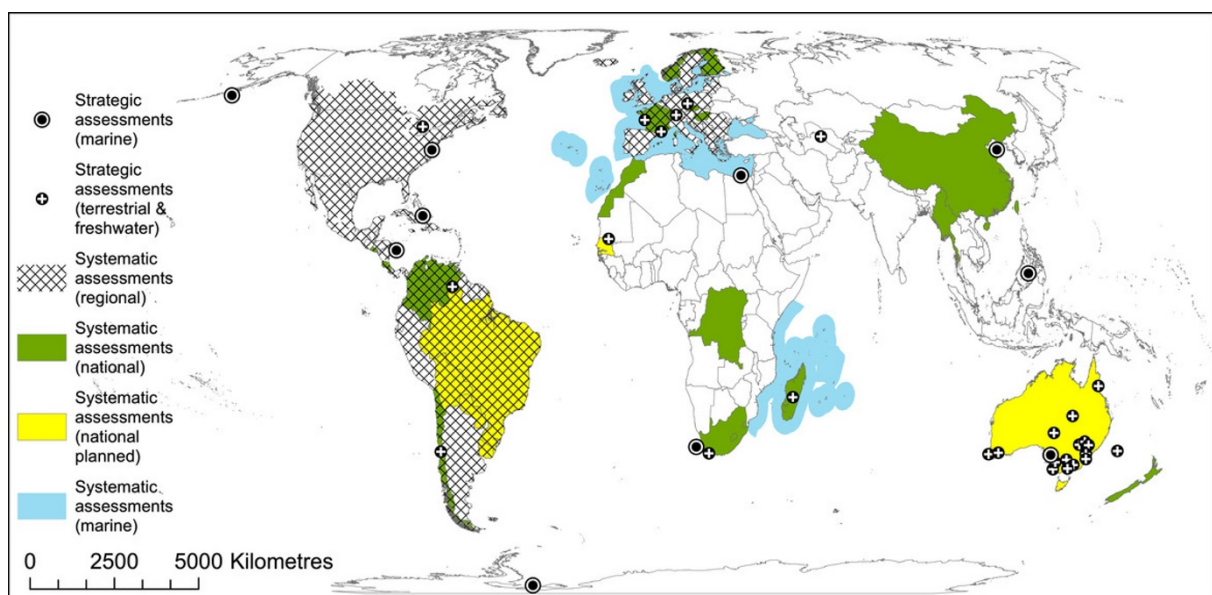


Fig. 2. Map of IUCN Red List of Ecosystems assessments(Bland et al., 2019). RLE assessment is divided into strategic assessment and systematic assessment, with the assessment scale conducted at the regional and national levels.

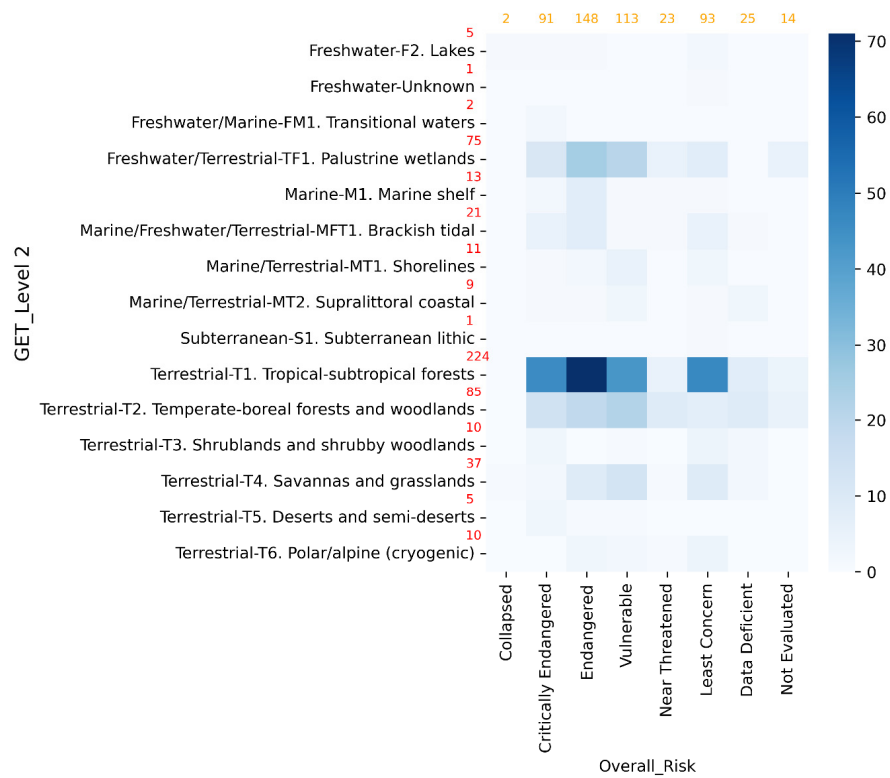


Fig. 3. Proportion of IUCN Global Ecosystem Typology Level 2 within the IUCN Red List of Ecosystems categories.

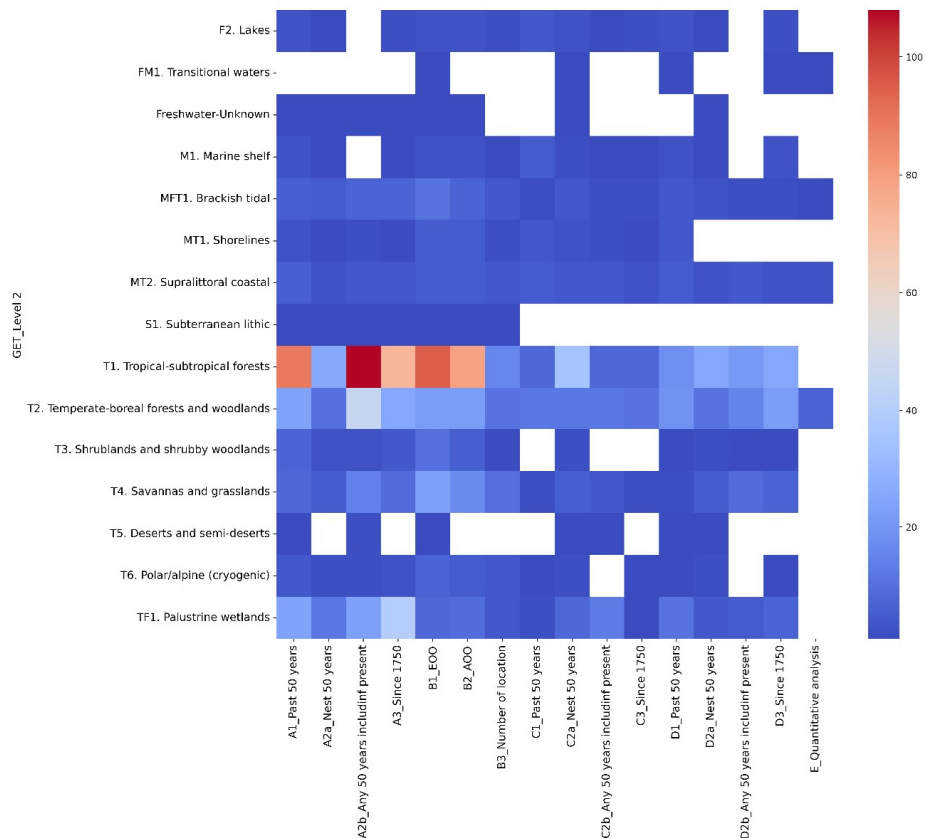


Fig. 4. Proportion of IUCN Global Ecosystem Typology(GET) Level 2 within the IUCN Red List of Ecosystems(RLE) subcriteria.

가 이루어졌다(Fig. 4). 평가를 적용한 기준들은 68.8%가 공간적 징후를 평가하는 기준 A와 B에 집중되어 있다(Table 1). 이러한 이유로는 시간에 따른 토지피복과 토지 이용 변화의 분류(지도)를 생성하는 Remap 파이프라인(Murray et al., 2018)과 공간적 기준을 평가하는 'redlistr' R package(Lee et al., 2019) 등과 같은 IUCN 생태계 적색목록에서 개발된 도구를 바탕으로 위성영상을 활용하여 과거와 현재의 데이터를 수집하기 용이하기 때문으로 판단된다.

국외 RLE 평가 결과의 활용 사례를 살펴보면, Chen et al. (2020)은 생물다양성 보전의 우선순위를 정할 때 보완적인 도구로서 생태계 적색목록을 활용하였다. 이 연구에서는 중국의 보호지역과 생태계 분포를 비교하여 위협을 받는 숲의 보전 상태를 평가하였다. Etter et al. (2020)은 생물다양성이 풍부한 콜롬비아에서 생태계 적색목록을 사용하여 보전 가치를 극대화하고 토지 사용 갈등을 최소화하는 복원 우선순위를 설정했다. 고위험 생태계와 저 생산성 토지를 중심으로 한 접근 방식을 택하여 복원에 필요한 비용을 연간 예산의 50% 미만으로 줄일 수 있을 것으로 추정하였다. Alaniz et al. (2019)은 생태계에 대한 다양한 적색목록 기준에 의해 강조된 위험을 줄일 수 있는 20가지 정책 도구를 식별하고, 생태계의 적색목록 평가 정책 과정에서 그들의 선택과 적용을 어떻게 정보화 할 수 있는지를

보여주었다. 이처럼 RLE는 전통적인 보전 주제인 보호지역의 설계 및 평가, 보전 사이트의 우선순위 결정 뿐만 아니라, 토지 사용 및 지역 계획, 생태 복원 전략, 거시 경제 정책 설계에도 유용하게 활용될 수 있다.

국내에서도 RLE 평가를 통해 우리나라의 독특한 생태계 유형과 현재 상태를 정확하게 파악하고 보전할 필요가 있다. 이러한 평가를 통해 국내 생태계의 상태를 국제적으로 비교하고, 세계적인 생태계 보전 및 복원 노력에 기여할 수 있을 것이다.

4. RLE 평가 국내 적용을 위한 고려사항

국내에 IUCN 생태계 적색목록(RLE) 평가를 적용을 위한 고려사항으로는 크게 3가지가 있다. 첫째, 국내 적용 가능한 지구 생태계 유형(IUCN Global Ecosystem Typology 2.0, GET)이며, 둘째로는 IUCN 생태계 적색목록 범주 기준이 국내 적용 가능한 규모인지를 판단하는 것이며, 마지막으로 5가지 범주 기준에 활용 가능한 데이터 수집이다. 이 세가지 사항을 고려하여 생태계 적색목록 평가를 국내 적용해야 한다.

IUCN 생태계 관리 위원회(Commission on Ecosystem Management)는 생태계에 대한 위험을 평가하고 관리하기 위하여 GET를 채택하였다. GET는 생태계 적색목록의 전 세계의 위험 평가를 위한 종합적이고 일관된 글로벌 프레임워크를 제공한다(Keith et al. 2020; Keith et al. 2015; Keith et al. 2013). IUCN은 108개의 생태기능별 토지유형(Ecological Functional Group, EFG)을 전 지구적 범위에서 지도로 제공하고 있으며, 국내 생태계는 41개 유형으로 분류되었다. 하지만, GET는 전세계 규모로 제작되었기 때문에 해상도가 낮고 실질적인 토지 현황과 일치하지 않는 경우가 많다(Sohn et al. 2023). 이러한 이유로 Sohn et al. (2023)은 토지피복도와 기존 국가자료를 최대한 활용하여 국내 IUCN 지구 생태계 유형 분류의 정확도를 높이고 실질적인 현황을 반영한 지도를 제작하여 국내 생태계 유형을 총 25개 유형으로 분류하였다. 재 분류된 GET 25개 유형을 바탕으로 국내 생태계 적색목록 평가에 활용하여 종합적이고 일관된 체계로 평가를 할 수 있을 것으로 사료된다.

IUCN 생태계 적색목록 평가 방법을 국내 위기 생태계 평가에 적용하기 위해서는 우선 IUCN 생태계 적색목록 방법론이 국내에 위기 생태계 평가가 가능한지를 판단해야 한다. 위기 생태계가 얼마나 제한된 분포를 갖는지 평가하는 기준 B2는 특정 생태계 유형의 분포 면적이 1010km² 격자수에 따라 2개 이하는 CR(Critically Endangered), 20개 이하는 EN(Endangered), 50개 이하는 VU(Vulnerable)으로 적색목록 범주를 정한다. 이 기준을 국내에 육상 생태계에 적용하면 한라산 아고산 침엽수림의 면적은 62.04km² (Kim et al., 2019)로 생태계 적색목록 결과는 CR(위급)이다. 이처럼 우리나라는 국토면적이 좁고 다양한 생태계 유

Table 1. Assessment outcomes of the IUCN Red List of Ecosystems(RLE) subcriteria. This result is comprised of 509 ecosystem types published by the IUCN Red List of Ecosystems, which were downloaded and utilized from the website(<https://assessments.iucnrl.org/>).

Criterion	Subcriteria	Assessed	Percentage (%)
A Reduction in distribution	A1 Past 50 years	180	11.70
	A2a Next 50 years	71	4.62
	A2b Any 50 years (including present)	213	13.85
	A3 Since 1750 year (or pre-industrial land use)	171	11.12
B Restricted distribution	B1 Extent of occurrence (EOO)	196	12.74
	B2 Area of occurrence (AOO)	163	10.60
	B3 Number of location	60	3.90
C Environmental degradation	C1 Past 50 years	45	2.93
	C2a Next 50 years	84	5.46
	C2b Any 50 years (including present)	48	3.12
	C3 Since 1750 year (or pre-industrial land use)	32	2.08
D Disruption of biotic processes	D1 Past 50 years	73	4.75
	D2a Next 50 years	59	3.84
	D2b Any 50 years (including present)	57	3.71
	D3 Since 1750 year (or pre-industrial land use)	74	4.81
E Quantitative analysis		12	0.780234

형이 존재되어 있기 때문에 국내 상황과 맞지 않다. 국내 생태계 유형에 맞게 평가 기준을 재정립을 한다면, 예를 들어 기준 B2의 격자 크기를 11km로 줄이거나 또는 격자 수 변경 등과 같이 평가 기준을 재정립이 필요할 것으로 사료된다. 이를 위해서는 특정 생태계 유형에 정확한 공간 분포 데이터를 기반으로 평가 기준 재정립이 필요하다. 또한 IUCN 생태계 적색목록 사무국에서도 소규모 평가 영역에서 기준 B를 적용하기 위한 지침도구에 관한 연구를 현재 진행중에 있다(Bland et al., 2017).

RLE 평가를 국내 육상생태계에 적용시 평가에 활용할 수 있는 데이터는 다음과 같다. 공간적 평가를 하는 기준 A 및 B는 환경부의 현존식생도, 산림청의 임상도, 국립공원 서식지 분류 체계 등이 있으며, 현존식생도는 과거 2차 1997년부터 4차 2018년까지의 공간분포자료 수집이 가능하다. 환경 황폐화를 평가하는 기준 C는 기상청의 기온, 강수량, 산악기상 데이터가 있으며, 생물학적 교란을 평가하는 기준 D는 전국자연환경조사 2차-5차, 국가산림자원조사 5차-7차 등의 데이터를 활용할 수 있다.

5. 결론

IUCN 생태계 적색목록(RLE) 평가는 전 세계적으로 많은 국가와 다양한 생태계에서 활발하게 이루어지고 있으며, 해당 연구를 통해 얻어진 데이터는 생태계의 현 상태를 파악하고 보전 및 복원 방향을 제시하는데 큰 역할을 하고 있다. 본 논문에서는 RLE 평가 방법, 국외 연구 동향, 그리고 국내에서의 적용을 위한 고려사항에 대해 알아보았다.

첫째, RLE 평가 방법은 크게 공간적 징후(기준 A와 B), 기능적 징후(기준 C와 D), 그리고 정량적 리스크 분석(기준 D)의 세 가지 기준으로 이루어진다. 이 중 공간적 징후인 기준 A와 B를 가장 많이 활용하여 평가하고 있으며, 이는 다른 평가 활용데이터들에 비하여 위성영상을 활용한 과거와 현재의 공간 데이터를 수집이 용이하기 때문으로 판단된다. 둘째, 국외 연구 동향을 살펴보면, RLE 평가는 생물다양성 보전, 보호지역의 설계 및 평가, 토지 사용 및 지역 계획, 생태 복원 전략, 거시 경제 정책 설계 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 이는 RLE 평가가 단순히 생태계의 현 상태를 파악하는 것뿐만 아니라, 보전 및 복원의 방향을 제시하는데도 큰 역할을 하고 있음을 보여준다.

국내에서의 RLE 평가 적용을 위한 고려사항은 (1) 국내 적용 가능한 지구 생태계 유형(GET)을 정립과, (2) IUCN RLE 범주 기준이 국내에 적용 가능한지 판단해야 하며, (3) IUCN RLE의 5가지 범주 기준에 활용 가능한 데이터를 수집해야 한다. 이러한 고려사항을 토대로 RLE 평가를 국내에 적용하면, 우리나라의 독특한 생태계 유형과 현재 상태를 정확하게 파악할 수 있을 것이며, 이는 세계적인 생태계 보전 및 복원 노력에 기여할 것이다.

결론적으로, RLE 평가는 전 세계적으로 활발하게 이루

어지고 있으며, 해당 연구를 통해 얻어진 데이터는 생태계의 현 상태를 파악하고 보전 및 복원 방향을 제시하는데 큰 역할을 하고 있다. 또한, 국내에서의 RLE 평가 적용을 위해서는 글로벌 생태계 유형(GET)의 정립, IUCN RLE 범주 기준의 적용 가능성 판단, 그리고 필요한 데이터의 수집 등을 고려해야 할 것이다. 이러한 고려사항을 바탕으로 국내에 RLE 평가를 적용하면, 우리나라의 독특한 생태계 유형의 현재 상태를 정확하게 파악할 수 있을 것이며, 이는 세계적인 생태계 보전 및 복원 노력에 기여할 것이다.

사사

본 논문은 국립생태원의 “생태계 유형별 탄소-생물다양성 연계 평가 지표 개발(23) (NIE-고유연구-2023-43)”에 의해 지원되었습니다.

References

- Alaniz, AJ, Pérez-Quezada, JF, Galleguillos, M, Vásquez, AE and Keith, DA (2019) Operationalizing the IUCN Red List of Ecosystems in public policy, *Conservation Letters*, 12(5), e12665. [DOI <https://doi.org/10.1111/conl.12665>]
- Bland, LM, Keith, DA, Miller, RM, Murray, NJ and Rodríguez, JP (2017) Guidelines for the application of IUCN Red List of Ecosystems Categories and Criteria, version 1.1., *International Union for the Conservation of Nature*, Gland, Switzerland. 99pp. [DOI <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.RLE.3.en>]
- Bland, LM, Nicholson, E, Miller, RM, Andrade, A, Carré, A, Etter, A and Keith, DA (2019) Impacts of the IUCN Red List of Ecosystems on conservation policy and practice, *Conservation letters*, 12(5), e12666. [DOI <https://doi.org/10.1111/conl.12666>]
- Boisvenue, C and Running, RW (2006) Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century, *Global Change Biology*, 12(5) pp. 862–882. [DOI <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01134.x>]
- Cardinale, BJ, Duffy, JE, Gonzalez, A, Hooper, DU, Perrings, C, Venail, P and Naeem, S (2012) Biodiversity loss and its impact on humanity, *Nature*, 486(7401), pp. 59–67. [DOI <https://doi.org/10.1038/nature11148>]
- Chen, G, Wang, X and Ma, K (2020) Red list of China's forest ecosystems: A conservation assessment and protected area gap analysis, *Biological Conservation*, 248, 108636. [DOI

- <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108636>
- Díaz, S, Settele, J, Brondízio, E, Ngo, HT, Guèze, M, Agard, J and Butchart, S (2019) Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change, *Science*, 366(6471), eaax3100. [DOI <https://doi.org/10.1126/science.aax3100>]
- Etter, A, Andrade, A, Nelson, CR, Cortés, J and Saavedra, K (2020) Assessing restoration priorities for high-risk ecosystems: An application of the IUCN Red List of Ecosystems, *Land Use Policy*, 99, 104874. [DOI <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104874>]
- Gaston, KJ and Fuller, RA (2009) The sizes of species' geographic ranges, *Journal of applied ecology*, 46(1), pp. 1–9. [DOI <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01596.x>]
- Hanski, I (1998) Metapopulation dynamics, *Nature*, 396(6706), pp. 41–49. [DOI <https://doi.org/10.1038/23876>]
- Harpole, WS and Tilman, D (2007) Grassland species loss resulting from reduced niche dimension, *Nature*, 446(7137), pp. 791–793. [DOI <https://doi.org/10.1038/nature05684>]
- IUCN Red List of Ecosystem (IUCN RLE) (2023, March 3) <https://assessments.iucnrle.org/>
- Keith, DA, Ferrer-Paris, JR, Nicholson, E and Kingsford, RT (2020) IUCN Global ecosystem typology 2.0., *Descriptive profiles for biomes and ecosystem functional groups*, IUCN. Gland. 170p. [DOI <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.13.en>]
- Keith, DA, Rodríguez, JP, Brooks, TM, Burgman, MA, Barrow, EG, Bland, L and Spalding, MD (2015) The IUCN red list of ecosystems: Motivations, challenges, and applications, *Conservation Letters*, 8(3), pp. 214–226. [DOI <https://doi.org/10.1111/conl.12167>]
- Keith, DA, Rodríguez, JP, Rodríguez-Clark, KM, Nicholson, E, Aapala, K, Alonso, A and Zambrano-Martínez, S (2013) Scientific foundations for an IUCN Red List of Ecosystems, *PLOS one*, 8(5), e62111. [DOI <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062111>]
- Kim, ES, Lee, JS, Park, GE and Lim, JH (2019) Change of subalpine coniferous forest area over the last 20 years, *Journal of Korean Society of Forest Science*, 108(1), pp. 10–20. [Korean Literature] [DOI <https://doi.org/10.14578/jkfs.2019.108.1.10>]
- Lee, CK, Keith, DA, Nicholson, E and Murray, NJ (2019) Redlistr: tools for the IUCN Red Lists of ecosystems and threatened species in R, *Ecography*, 42(5), pp. 1050–1055. [DOI <https://doi.org/10.1111/ecog.04143>]
- MacArthur, RH and Wilson, EO (2001) The theory of island biogeography. Vol. 1. Princeton university press.
- Mace, GM and Lande, R (1991) Assessing extinction threats: toward a reevaluation of IUCN threatened species categories, *Conservation biology*, 5(2), pp. 148–157. [DOI <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1991.tb00119.x>]
- Mace, GM, Barrett, M, Burgess, ND, Cornell, SE, Freeman, R, Grooten, M and Purvis, A (2018) Aiming higher to bend the curve of biodiversity loss, *Nature Sustainability*, 1(9), pp. 448–451. [DOI <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0130-0>]
- McKnight, MW, White, PS, McDonald, RI, Lamoreux, JF, Sechrest, W, Ridgely, RS and Stuart, SN (2007) Putting beta-diversity on the map: broad-scale congruence and coincidence in the extremes, *PLoS biology*, 5(10), e272. [DOI <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0050272>]
- Millennium ecosystem assessment, M. E. A. (2005) Ecosystems and human well-being Vol. 5, p. 563. Washington, DC: Island press.
- Murray, NJ, Keith, DA, Bland, LM, Nicholson, E, Regan, TJ, Rodríguez, JP and Bedward, M (2017) The use of range size to assess risks to biodiversity from stochastic threats, *Diversity and Distributions*, 23(5), pp. 474–483. [DOI <https://doi.org/10.1111/ddi.12533>]
- Murray, NJ, Keith, DA, Simpson, D, Wilshire, JH and Lucas, RM (2018) Remap: An online remote sensing application for land cover classification and monitoring, *Methods in Ecology and Evolution*, 9(9), pp. 2019–2027. [DOI <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13043>]
- Nicholson, E, Andrade, A, Driver, A, Ferrer-Paris, JR, Keith, D, Sievers, M and Stevenson, S (2023) Beyond the headline: roles of the Red List of Ecosystems in implementing the Kunming–Montreal Global Biodiversity Framework, *OSF Preprints*. [DOI <https://doi.org/10.31219/osf.io/k4zm8>]
- Rodríguez, JP, Keith, DA, Rodríguez-Clark, KM, Murray, NJ, Nicholson, E, Regan, TJ and Wit, P (2015) A practical guide to the application of the IUCN Red List of Ecosystems criteria, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1662), 20140003. [DOI <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0003>]

- Sohn, HJ, Won, SY, Jeon, JE, Park, EH, Kim, DH, Han, SH and Song, YK (2023) A Study on the Application of IUCN Global Ecosystem Typology Using Land Cover Map in Korea, *Korean J. Environ. Ecol.*, 37(3), pp. 209–220. [Korean Literature] [DOI <https://doi.org/10.13047/KJEE.2023.37.3.209>]
- Tan, J, Li, A, Lei, G, Bian, J, Chen, G and Ma, K (2017) Preliminary assessment of ecosystem risk based on IUCN criteria in a hierarchy of spatial domains: A case study in Southwestern China, *Biological Conservation*, 215, pp. 152–161. [DOI <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.09.011>]