



# 한국 생태계의 기후변화 리스크에 대한 적응 전략 고찰

이경은\* · 홍승범\*\*†

\*국립생태원 생태계-기후 통합정보 TF팀 전임연구원, \*\*국립생태원 생태계-기후 통합정보 TF팀 팀장

## An exploration of adaptation strategies for addressing climate change risks to Korea's ecosystems

Lee, Kyungeun\* and Hong, Seungbum\*\*†

\*Associate Researcher, Eco-Climate Integrated Information TF, National Institute of Ecology, Seochon, Korea

\*\*Team-Leader, Eco-Climate Integrated Information TF, National Institute of Ecology, Seochon, Korea

### ABSTRACT

Climate change presents complex risks to biodiversity and ecosystem services, particularly in vulnerable systems such as alpine zones, islands, and wetlands. These risks manifest as physiological stress in temperature-sensitive species, the expansion of invasive species under changing climate conditions, and habitat fragmentation driven by hydrological and thermal variability. This study examined ecosystem-based adaptation strategies by assessing climate risks across three ecological dimensions: species, communities, and habitats. Building on Korea's first national ecosystem climate risk assessment, expert consultations were conducted through forums, structured surveys, and semi-structured interviews to evaluate the rationale and feasibility of proposed actions. The findings identified eighteen priority actions, including climate sensitivity-based conservation of alpine and island ecosystems, development of early detection and warning systems for invasive species, and restoration measures to enhance connectivity among fragmented habitats. From these results, a four-pillar adaptation framework was derived. The first pillar emphasizes scientific reinforcement of climate risk information, ensuring that adaptation strategies are grounded in reliable and continuously updated data. The second focuses on spatial restoration and biosecurity, aiming to restore degraded habitats while preventing and managing invasive species. The third addresses crisis management in high-risk ecosystems, prioritizing rapid responses and protective measures. The fourth highlights multi-level governance integration, fostering coordination among national, regional, and local institutions to promote coherent adaptation policies. This study provides a framework for linking ecological risk information with local adaptation and management planning, thereby contributing to improved ecosystem resilience and more integrated national responses to climate change.

*Key words* : Climate Change Adaptation, Ecosystem-Based Strategy, Species Sensitivity, Invasive Species, Habitat Connectivity, Biodiversity Governance

### 1. 서론

기후변화는 생물다양성과 생태계 건강성에 심각한 위협을 가하며, 그 영향은 인간 건강, 식량 안보, 재해 회복력 등 다양한 사회적 영역으로 확산하고 있다. IPCC 제6

차 평가보고서(AR6)는 생태계 회복력이 한계에 도달하는 '임계점(tipping point)' 현상을 경고하며, 생물다양성 보전과 기후 적응의 통합 접근의 시급성을 강조한다(IPCC, 2022). 기후위기의 영향은 단순한 평균기온 상승을 넘어 서식지 구조 변화, 종 간 상호작용 붕괴, 생태계서비스 저

†Corresponding author : sbhong@nic.re.kr (1210, Geumgang-ro, Maseo-myeon, Seochon-gun, 325813, Korea. Tel. +82-41-950-5611)

ORCID 이경은 0000-0003-1493-5360

홍승범 0000-0002-1163-7045

하 등 다차원적으로 나타난다. 특히 기온 상승이 특정 종의 생존 한계를 초과하거나 서식지를 근본적으로 변화시키는 경우, 회복 불가능한 생태계 붕괴로 이어질 수 있다. 실제로 고산지대 및 북방계 생물종의 서식지 축소와 개체군 감소가 보고되고 있으며(Foden et al., 2013; Parmesan, 2006), 외래종의 기후 적합성 증가에 따라 확산 속도 또한 가속화되고 있다(Bellard et al., 2012; Seebens et al., 2021). 이러한 변화는 기존 생물군집을 교란하고 생태계 복원력을 약화해 궁극적으로 생물다양성 손실로 이어진다(Parmesan and Yohe, 2003; Root et al., 2003). 이에 국제사회는 ‘자연기반해법(Nature-based Solutions, NbS)’과 ‘생태계 기반 적응(Ecosystem-based Adaptation, EbA)’을 핵심 전략으로 채택하고 있으며(CBD, 2022; IPBES, 2019), 이는 구조물 중심 회피 전략을 넘어 생태계 기능을 활용한 공존적 체계로의 전환을 강조하고 있다(IUCN, 2020).

우리나라 또한 「기후변화 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」, 「생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률」, 「자연환경보전법」 등을 통해 기후와 생물다양성 통합 대응체계를 점진적으로 구축하고 있다. 그러나 부처 간 정책의 분절성, 기후 리스크 변화 반영의 한계 등 구조적 문제가 여전히 존재한다. 특히 기존 보전 정책은 보호종 목록과 고정된 서식지 상태를 기준으로 운영되고 있어, 기후변화로 인한 종 분포 변화와 서식지의 질적 저하에 유연하게

대응하기 어렵다. 예를 들어 고산 침엽수림의 쇠퇴, 도서 고유종의 국지적 절멸 가능성, 외래종의 확산 등은 현재의 고정적 보전 체계가 가진 한계를 분명히 드러낸다. 이러한 국제적·국내적 상황 속에서, 생물종 이동과 기후 민감도에 기반한 동적 보호 전략, 기후 적합 서식지의 재설계, 통합적인 거버넌스 체계의 수립이 절실하다. 실제로 일부 지자체에서 지역 적응관리계획(Local Adaptation and Management Plan, LAMP)을 기반으로 한 기후적응 전략 수립을 시도하고 있으나, 생태계 정보 부족과 인프라 미비로 인해 실효성은 제한적이다(Park, 2023).

따라서 본 연구는 생물종·군집·서식지라는 세 가지 생태범주를 중심으로 기후변화 리스크를 진단하고, 실행할 수 있으며 정책과 연계될 수 있는 전략 체계를 도출하는 것을 목적으로 한다. 나아가 다양한 이해관계자의 의견을 통합하여 과학적 근거와 정책 수요 간의 간극을 줄이고, 향후 LAMP와 연계할 수 있는 실천적 기반을 제시하고자 한다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 제1차 생태계 기후변화 리스크 평가(Hong et al., 2020) 결과를 토대로, 리스크 항목별 관련 국가 정책 추진 현황을 분석하고, 분야별 전문가 의견을 수렴하여 전략을 도출하였다.

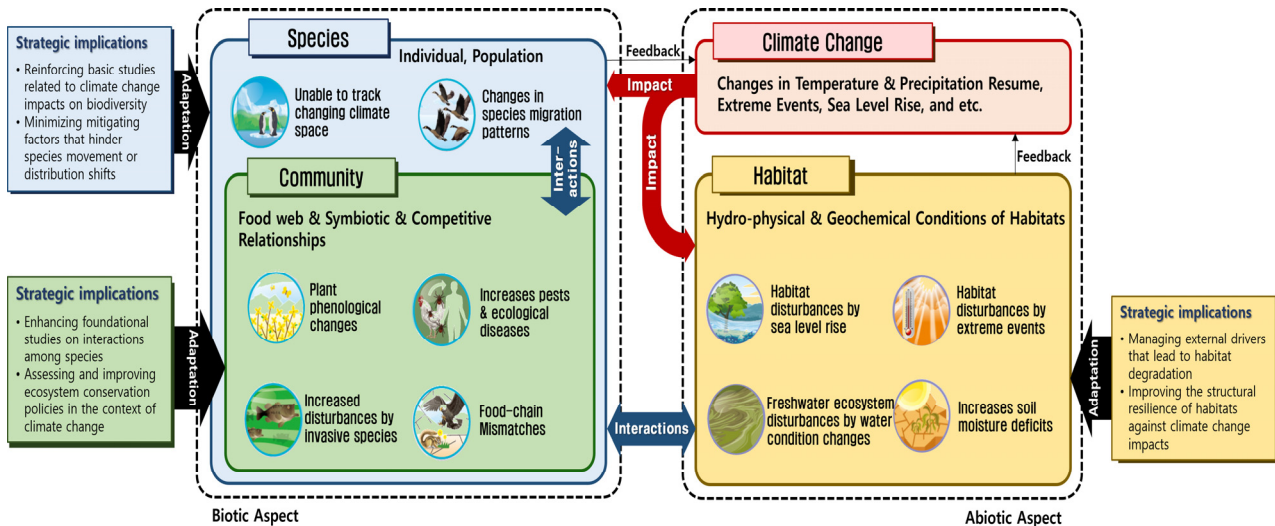


Fig. 1. Conceptual framework illustrating the interactions between climate change, biotic aspects (species, individual/population, and community), and abiotic aspects (habitat), highlighting the pathways of impacts, feedbacks, and interactions. The diagram also presents strategic implications for mitigating biodiversity loss and enhancing ecosystem resilience in the context of climate change

Table 1. Summary of key climate risks and their policy implications

Risk type	Key considerations	Policy implications
Species	<ul style="list-style-type: none"> <li>Increased species extinction risk in alpine and island ecosystems</li> <li>Limited mobility and difficulty in habitat replacement</li> <li>Lack of scientific information about physiological response to climate changes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prioritizing species conservations based on climate sensitivity</li> <li>Securing suitable habitats for climate change adaptation</li> <li>Ex-situ conservation strategies for species genes</li> </ul>
Community	<ul style="list-style-type: none"> <li>Increased climate suitability for potential invasive species</li> <li>Risk emergence of normal species as disruptive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scenario-based spread prediction systems of invasive species</li> <li>Enhanced early warning and detection systems to prevent ecosystem disturbance</li> </ul>
Habitat	<ul style="list-style-type: none"> <li>Variations in the climate change impacts and risks depending on regions and habitat types</li> <li>Need for tailored strategies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Development of habitat-type-specific strategies (e.g., sea level rise, wildfires, hydrological changes)</li> <li>Integrated governance for overlapping risk areas</li> </ul>

첫째, 제1차 평가에서 도출된 핵심 리스크 항목들을 생물종·군집·서식지의 세 범주로 구분하고(Fig. 1), 항목별 시사점과 정책적 한계점을 분석하였다. 이 과정에서 현행 법·제도 체계의 개선 방향도 함께 도출하였다.

둘째, 분석 결과를 전문가 포럼에서 공유하고, 기후변화 대응의 핵심 정책 분야를 선정하였다. 특히 군집 수준에서는 국내 기반자료 부족으로 인해 외래생물 관리에 한정하여 적응 방향을 검토하였다.

셋째, 선정된 분야별로 전문가 설문조사(자문)를 실시하였다. 설문은 기초자료 확보, 연구주제, 정책 수요 등 기후변화 리스크 평가 고도화를 위한 필요성(rationale)과 수행 가능성(feasibility)을 중심으로 구성되었다. 필요성은 해당 과제의 필요 정도에 따라 3단계(상·중·하)로 평가하도록 하였으며, 전문가가 판단하기에 매우 필요하다고 생각하면 ‘상’, 보통 수준이면 ‘중’, 낮으면 ‘하’를 부여하도록 하였다. 수행 가능성도 예상되는 과제 수행 기간을 기준으로 5년 이내, 6~10년, 10년 초과 또는 불가능 등 3단계로 평가하도록 하였다. 이를 통해 향후 전략과제의 현실성과 실행 가능성을 검증하였다. 설문에는 생태학 및 기후변화 관련 분야에서 연구 경험이 풍부한 학계 및 연구기관 전문가 11인(5개 대학과 6개 연구기관)이 참여하였다. 이후 포럼을 통해 설문 결과를 재검토하고, 정책적 실행 여건을 추가로 반영하였다.

최종적으로 전문가 의견과 정책 분석 결과를 종합하여 기후정보 기반의 예산 배분, 거버넌스 통합, 지역 순환형 적응관리 체계 구축 등 실천적 이행 전략을 도출하였다. 이러한 결과는 향후 지자체 단위의 LAMP와 연계할 수 있는 범부처 전략 설계의 기반자료로 활용될 수 있다.

### 3. 결과

#### 3.1. 생태계 기후적응 관련 정책 및 법제 현황

우리나라의 기후변화 적응 법제는 「탄소중립·녹색성장 기본법」을 중심으로 정립되었으나, 국가 차원의 계획은 대부분 배출량 관리에 치중되어 있어 생태계 차원의 적응 전략은 상대적으로 미흡하다. 현재 종합적 성격을 지닌 정책은 환경부 주관의 「국가기후변화적응대책」으로, 「저탄소 녹색성장 기본법」 제48조에 근거해 5년 주기로 수립된다. 이 대책은 기후변화 피해 예방, 영향 완화, 건강 및 자연재해 대응 등을 주요 내용으로 포함하며, 현재 제3차 국가기후변화적응대책(2021~2025)이 시행 중이다(Ministry of Environment, 2023).

최근에는 기존 적응대책의 한계를 보완하고 기후위기의 심각성에 대응하기 위해 「국가 기후위기 적응 강화대책(2023)」이 수립되었다. 이 대책은 기후위험 진단체계를 고도화, 취약계층 보호, 부문별 적응역량 강화, 지역 맞춤형 적응계획 고도화 등을 목표로 하고 있다. 그러나 현재 정책 간 목표와 이행 수준의 차이가 크고, 생태계서비스 손실에 대한 정량적 평가 기반이 부족하여 실효성 검증이 어렵다는 한계가 있다. 또한 현행 정책들은 기후변화 모니터링 체계 구축, 리스크 평가 기반 대응, 종 및 서식지 보전 등을 포함하지만, 과학적 근거가 부족해 실제 적응 효과를 검증하기에는 제한적이다. 최근에는 LAMP 기반의 지역 단위 적응 정책이 확산하고 있으나(Ahn et al., 2016; Ministry of Environment, 2023; Park, 2023), 여전히 지자체의 생태계 정보와 인프라 부족이 문제로 지적된다.

Table 2. Research and policy needs for enhanced climate risk assessment and risk reduction strategies

Advisory Content	
A. Species Vulnerability	B. Community (Invasive species)
Required Data	Required Data
	Research Needs
Research Needs	Policy Implications
	C. Habitat Degradation
Policy Implications	Required Data
	Research Needs
Policy Implications	Policy Implications

### 3.2. 분석 대상 범주별 진단

범주별로 국내 데이터의 가용성에 따라 대표적인 리스크를 선정·평가하였다. 예를 들어, 생물종 범주에서는 기온 상승에 따른 개체군 수준의 절멸 위험, 군집 범주에서는 침입 외래생물의 증가로 인한 생태계 교란 위험, 서식지 범주에서는 토양 건조 및 극한 가뭄 현상의 빈도 증가에 따른 산림과 내륙습지의 악화 위험이 제시되었다(Table 1). 군집 수준의 적응은 종 간의 상호작용, 예컨대 먹이, 공생, 경쟁 관계 등 생태계 내 상호 의존적 구조의 지속 가능성을 유지하는 방향으로의 접근이 요구된다. 그러나 침입 외래생물에 의한 교란을 제외하고는 이러한 상호작용을 평가할 수 있는 국내 기반자료가 매우 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 군집 수준의 적응 방향을 외래생물 관리에 한정하여 고찰하였다.

#### 3.2.1. 생물종 범주

생물종 범주에서는 기온 상승으로 인한 개체군 절멸 위험이 가장 심각한 기후변화 리스크로 확인되었다. 기후변화가 종에 미치는 영향은 단순히 서식지 면적 축소에 그치지 않고, 생리적 반응, 번식 성공률, 개체군 구조와 같은 종 내부의 생태적 속성까지 다양하게 파급된다. 특히 고산 지대와 도서 지역에 서식하는 종들은 지리적으로 고립되어 있고 이동성이 제한적이어서, 기후 스트레스에 적응할 수 있는 여지가 매우 작다. 이에 따라 서식지 축소와 개체군 고립이 동시에 진행되면서 절멸 가능성이 높아진다.

실제로 고산 침엽수림에서 나타나는 쇠퇴 현상은 고산성 식물과 그에 의존하는 곤충·조류 종에게 연쇄적인 영향을 미치고 있으며, 도서 고유종의 경우 국지적 서식지에서의 절멸 사례가 보고되고 있다. 멸종위기종이나 희귀종의 경우에는 개화 시기의 변화, 번식을 저하, 개체군 내 유전적 다양성 감소 등 다양한 생리적 이상 반응이 나타나고 있다. 조류의 경우 먹이자원과 번식 시기의 불일치가 점차 심화하면서 번식 성공률이 낮아지고 있으며, 양서류 역시 기온 상승에 민감하게 반응하여 분포권이 점차 북상하는 경향을 보인다. 이러한 현상은 개별 종의 차원을 넘어, 생태계 내 상호작용과 기능적 안정성을 근본적으로 흔들 수 있다.

그러나 국내에서는 이러한 변화를 정량적으로 평가할 수 있는 과학적 기반이 매우 부족하다. 생물다양성 조사가 본격적으로 이루어진 지 20년 남짓에 불과하고, 국가 차원의 장기 시계열 데이터가 충분히 확보되지 못한 상황

이다. 이는 기후변화에 따른 종 분포 변화 예측의 불확실성을 크게 높이고 있으며, 과학적 근거 부족으로 인해 정책적 대응의 효과성 또한 제한되는 구조적 문제를 일으킨다. 따라서 절멸 위험이 큰 종을 조기에 선별하고, 보전의 시급성에 따라 우선순위를 설정하는 과정이 필수적이다. 기존의 고정된 보호종 목록 기반 보전 정책에서 벗어나, 기후 민감도와 종별 적응력에 따라 동적으로 변하는 관리 체계로의 전환이 필요하다.

이러한 배경에서 실시한 전문가 설문조사 결과는 생물종 범주에서의 연구 및 정책 수요를 구체적으로 보여준다. 총 28개의 연구 및 정책 과제가 도출되었으며, 이 가운데 17개 과제가 필요성이 높다고 응답하였다(Fig. 2(a)). 또한 다수의 과제가 10년 이내에 수행 가능하다고 평가되어, 중·단기적 실행 가능성이 확보된 것으로 나타났다.

전문가들이 가장 시급하게 제시한 연구과제는 두 가지였다. 첫째, 기온 상승에 따른 생물종의 생리적 반응 규명이다. 이는 개별 종이 기후 스트레스에 어떻게 반응하는지를 밝힘으로써, 기후 민감도 평가와 우선 보전 대상 선정의 과학적 근거를 제공한다. 둘째, 취약종과 멸종위기종을 대상으로 한 체계적이고 장기적인 리스크 모니터링이다. 정기적 감시를 통해 종별 리스크 변화 양상을 추적해야만, 보전 전략이 과학적으로 정당성을 가질 수 있다는 점이 강조되었다. 이 외에도 설문에서는 장기적 생물계절학 연구, 기후생태권역 설정 및 권역별 관리목표종 지정, 중간기착지 먹이자원 변화에 따른 조류 리스크 연구, 기후변화에 따른 생물종 임계점 연구, 모니터링 및 평가 도구 개발 등 다양한 과제가 제시되었다. 이러한 의견은 기후변화로 인해 발생하는 생태적 변화가 종 단위의 생존 문제를 넘어, 군집 및 생태계 차원의 기능적 안정성까지 영향을 미치고 있음을 시사한다. 또한 정책 관련 응답에서는 기후변화 요인뿐만 아니라 토지 이용 변화, 오염, 서식지 파편화와 같은 외부 부정적 요인의 관리 필요성이 반복적으로 제기되었다. 전문가들은 이러한 요인들이 기후변화 영향과 복합적으로 작용하여 종 취약성을 가중한다고 지적하였다. 따라서 생물종 보전 과제를 수행할 때, 기후 요인과 비기후 요인을 동시에 고려해야 한다는 점이 확인되었다.

종합하면, 생물종 범주의 분석과 설문조사 결과는 “생리적 반응 규명, 취약종·멸종위기종 장기 모니터링, 생물계절학 연구, 기후생태권역 기반 관리체계 구축”이 핵심 과제로 도출되었음을 보여준다. 이는 향후 기후변화 리스크 저감 전략 수립의 기초자료로 활용될 수 있으며, 이후

군집 및 서식지 범주의 결과와 함께 통합적 전략 도출의 근거로 작용한다.

### 3.2.2. 군집 범주

군집 범주에서는 외래생물 확산으로 인한 생태계 교란이 가장 중요한 기후변화 리스크로 확인되었다. 기후변화는 외래종의 기후 적합성을 높여 기존 자생종의 생육 기반을 약화하며, 중간 경쟁 구도를 변화시킨다. 특히 아열대 기후에 적합한 수생식물이나 곤충류는 온난화에 따라 확산 속도가 빨라지고 있으며, 새로운 지역에서 군집 구조를 빠르게 재편하는 특징을 보인다. 이러한 변화는 단순히 외래종의 개체수 증가에 그치지 않고, 기존 생태계의 먹이망과 에너지 흐름에 심각한 변화를 일으킨다. 예컨대 특정 외래종이 우점화되면 토착종의 서식지가 대체되고, 더 나아가 토양 비옥도, 수질, 종 다양성 등 생태계 기능 전반이 변화할 수 있다.

이러한 군집 수준의 리스크를 진단하기 위해서는 중간 상호작용에 관한 기초자료가 필수적이다. 그러나 국내에는 먹이망 구조, 공생 관계, 경쟁·포식 관계 등에 대한 체계적인 연구가 부족하여, 군집 차원의 기후변화 영향을 정량적으로 평가하기 어렵다. 결과적으로 외래종 확산은 눈에 띄게 확인되지만, 그에 따른 군집 구조 변화가 생태계 전체에 어떤 파급 효과를 가져오는지는 충분히 규명되지 못한 실정이다. 이러한 자료의 부재는 군집 차원의 리스크 진단을 제약하며, 정책 대응에서도 근거 부족으로 이어지고 있다.

이와 같은 배경에서 실시한 전문가 설문조사에서는 총 11개의 후보 과제가 제시되었고, 이 중 5개 과제가 필요성과 수행 가능성이 모두 높은 것으로 평가되었다(Fig. 2(b)). 이는 군집 범주에서 외래생물 관리가 기후적응 전략의 핵심 영역임을 의미한다. 전문가들은 먼저 외래종의 생태학적 역할을 규명하는 연구가 필요하다고 보았다. 외래종이 토착 군집 내에서 어떤 기능적 지위를 차지하며, 어떤 상호작용을 통해 군집 구조를 변화시키는지를 밝히는 것이 향후 관리정책의 기초가 될 수 있다.

또한 기후변화 시나리오를 반영한 외래종 확산 경로 예측 연구가 주요 과제로 꼽혔다. 현재 일부 외래종에 대해서는 분포 자료가 존재하나, 대부분은 장기적 확산 가능성을 정량적으로 다루지 못하고 있다. 전문가들은 예측모형을 활용해 잠재적 분포권을 제시하고, 고위험 지역을 사전에 식별하는 것이 필요하다고 강조하였다. 이를 통해 조기 경보 및 탐지 시스템을 구축할 수 있으며, 이는 단순

사후 대응을 넘어 선제적 관리의 기반이 된다.

방제 전략에 대해서는 기존의 물리적 제거 방식에서 벗어나 천적을 활용한 생태학적 방제 방안을 개발할 필요성이 제기되었다. 예컨대 특정 외래 곤충에 대한 토착 천적 활용, 수생식물 확산에 대한 생물학적 제어 전략 등이 이에 해당한다. 이러한 접근은 외래종 관리가 단순한 제거 차원이 아니라, 생태계 기능을 보전하면서 교란을 완화하는 방향으로 진화해야 함을 보여준다.

설문조사에서는 이 외에도 다양한 추가 의견이 제시되었다. 외래종뿐 아니라 기후변화로 인해 교란 가능성이 높아지는 자생종까지 관리 대상에 포함되어야 한다는 의견, 국외에서 이미 문제화된 종의 국내 유입 가능성을 고려한 사전 규제 필요성, 교란종 분류군별 생태자료 구축과 위해성 평가 기준 정립 등이 그것이다. 또한 확산모형을 활용한 시뮬레이션 연구를 통해 외래종 도입 이후의 군집 구조 변화를 예측하고, 이를 토대로 관리 우선순위를 설정하는 체계가 필요하다는 제안도 있었다.

종합하면, 군집 범주에서는 외래생물 확산이 기후변화와 맞물려 생태계 교란을 심화시키고 있으며, 이를 과학적으로 진단하고 관리하기 위한 연구와 정책 수요가 매우 높다는 점이 확인되었다. 특히 외래종 생태학적 역할 규명, 확산 경로 예측, 조기 탐지 시스템 구축, 생태학적 방제 방안 개발은 단기·중기적으로 실행할 수 있는 핵심 과제로 도출되었다. 이 결과는 군집 차원의 기후변화 리스크 평가 고도화와 향후 적응 전략 수립의 중요한 근거가 될 수 있다.

### 3.2.3. 서식지 범주

서식지 범주에서는 습지, 도서, 고산 생태계가 대표적인 기후변화 취약 유형으로 확인되었다. 이들 서식지는 극한기후와 환경변화에 민감하게 반응하며, 특히 공간적 연결성이 낮을 경우 회복탄력성이 급격히 저하되는 특성을 보인다. 예를 들어 둌병습지와 같은 고립된 내륙 습지는 수문환경의 변화에 따라 식생 구조가 붕괴하고, 종 조성이 빠르게 변화할 위험이 크다. 기후변화로 인한 폭염, 집중호우, 가뭄, 해수면 상승 등은 습지와 연안 생태계의 구조적 안정성을 위협하고 있으며, 도서 생태계는 좁은 면적과 높은 고립성으로 인해 종의 국지적 멸절 위험이 다른 지역보다 훨씬 크다. 고산 생태계 역시 제한된 서식 범위로 인해 종 이동 가능성이 거의 없어, 기후 스트레스가 누적될 경우 종 손실로 직결될 수 있다.

이러한 서식지 리스크는 단순히 공간적 축소에 머무르

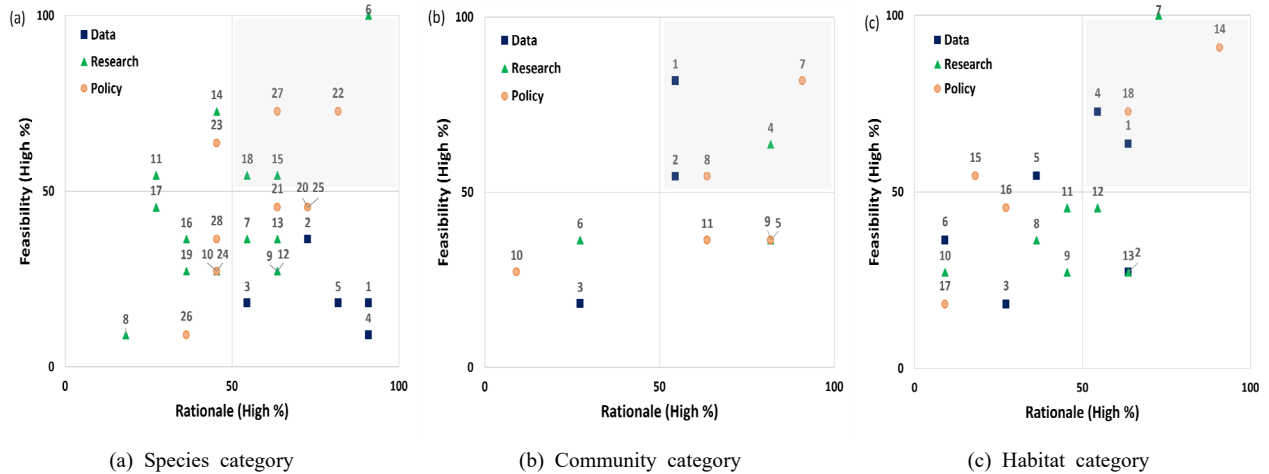


Fig. 2. Necessity and feasibility of tasks for advancing climate risk assessment. The X-axis represents rationale, defined as the proportion of experts who rated a task as “High” in necessity. The Y-axis represents feasibility, categorized by expected implementation timeframe ( $\leq 5$  years, 6 ~ 10 years,  $> 10$  years). Symbols denote task categories: ● required data, ■ required research, and ▲ required policy measures. Numbers next to symbols correspond to survey question identifiers

지 않고, 해당 생태계가 제공하는 다양한 서비스의 질적 저하로 이어진다. 습지는 수질 정화, 홍수 조절, 탄소 저장 등 다양한 기능을 수행하는데, 수문학적 교란이 지속되면 이러한 서비스가 급격히 약화한다. 연안과 갯벌은 어류 산란장 및 철새 도래지로서의 기능을 잃을 수 있으며, 이는 지역사회의 생계와 직결된다. 고산과 도서 생태계도 관광·문화적 가치, 수원 확보 기능이 약화하면서 지역사회 기반에 부정적 영향을 미칠 수 있다.

전문가 설문조사에서는 총 18개의 후보 과제가 제시되었으며, 이 중 5개가 필요성과 실행 가능성이 모두 높은 것으로 평가되었다(Fig. 2(c)). 연구 과제로는 습지의 지형학적 특성과 이탄습지 현황 자료 구축, 산림식생 종별 생리적 반응 연구가 특히 중요하게 꼽혔다. 이는 서식지별 민감도를 정량화하고, 향후 관리·복원 전략 수립의 과학적 기초 자료로 활용될 수 있다. 또한 서식지 회복력에 따른 등급화 체계를 마련하여, 관리 우선순위를 설정하고 단계별 대응을 가능하게 해야 한다는 의견이 다수였다.

정책 관련 과제로는 취약 서식지에 대한 장기 모니터링과 가치평가 체계 구축이 시급하다는 응답이 많았다. 현재의 보전 정책은 정적인 보호구역 관리에 머물러 있어, 기후변화에 따른 동적인 리스크 변화를 포착하지 못하고 있다. 이에 따라 장기 모니터링을 통해 기후변화의 영향을 지속적으로 추적하고, 이를 기반으로 서식지별 관리 전략을 조정해야 한다는 필요성이 강조되었다. 가치평가

체계 도입은 단순한 보전 차원을 넘어, 생태계 서비스의 손실을 경제적·사회적 지표로 환산함으로써 정책 설득력을 높이는 수단으로도 제시되었다.

설문에서는 이 밖에도 다양한 보완적 연구·정책 과제가 제안되었다. 드론 및 위성영상 기반 모니터링을 통해 광범위한 지역의 습지 탄소수지를 정밀하게 파악할 수 있는 기술적 접근이 필요하다는 의견이 있었으며, 소규모 습지 현황 조사를 정기적으로 수행해 미소 서식지의 변화를 추적해야 한다는 지적도 제기되었다. 또한 철새 도래지와 번식지에 대한 모니터링, 논습지를 활용한 기후변화 연구, 해수면 상승이 갯벌·연안 생물종에 미치는 영향 평가 등도 중요한 과제로 꼽혔다. 이는 서식지 범주의 기후 리스크 진단이 단순한 생태학적 분석을 넘어, 지역사회와 연계된 관리 및 활용 방안과도 긴밀히 연결되어야 함을 보여준다.

결론적으로, 서식지 범주에서는 기후변화로 인한 극한 기후 사건, 수문환경 변화, 해수면 상승 등이 복합적으로 작용하여 서식지 안정성과 회복력을 위협하고 있음이 확인되었다. 전문가 설문조사 결과(Fig. 2)에서도 이러한 진단이 반영되어, 습지·도서·고산 생태계를 중심으로 한 연구 및 정책 과제의 필요성이 매우 높게 평가되었다. 특히 연구 측면에서는 민감도 정량화, 생리적 반응 규명, 회복력 평가 체계 구축이 핵심 과제로, 정책 측면에서는 장기 모니터링과 가치평가 도입이 주요 과제로 도출되었다. 이

Table 3. Overview of climate change risk types, vulnerability factors, and strategic responses

Category	Major risk type	Vulnerability factors	Core strategic tasks	Example of priority actions
Species	<ul style="list-style-type: none"> <li>Population decline</li> <li>Physiological stress</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isolated habitats in alpine and island areas</li> <li>Limited mobility</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensitivity and vulnerability assessment systems for individual species</li> <li>Monitoring system for vulnerable species</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Monitoring of alpine conifer species</li> <li>Surveillance of endemic island species</li> </ul>
Community	<ul style="list-style-type: none"> <li>Northward migration and expansion</li> <li>Intensified ecosystem disturbance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Increased climate suitability for potential invasive species</li> <li>Lack of competing native species against invasive species</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Development of risk-based prediction models for species invasions</li> <li>Enhancement of prevention system against ecosystem disruptions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Listing of potentially dominant invasive species</li> <li>Pilot implementation of detection systems of disrupted time and location</li> </ul>
Habitat	<ul style="list-style-type: none"> <li>Habitat fragmentation</li> <li>Hydrological degradation</li> <li>Reduced resilience</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Increased frequency of extreme climate events</li> <li>Poorly classified habitat types</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Strategies to restore habitat connectivity</li> <li>Establishment of long-term monitoring systems</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Field survey of isolated pond wetlands</li> <li>Typology development for ambiguous wetland boundaries</li> </ul>

러한 결과는 향후 취약 서식지의 기후변화 대응 전략 수립에 있어 핵심적인 기초자료로 기능할 수 있을 것이다.

생물종, 군집, 서식지 범주의 진단 결과는 기후변화 리스크가 개별 차원에서만 나타나는 것이 아니라, 서로 긴밀히 연결되어 있음을 보여준다. 특정 종의 취약성은 군집 내 상호작용 변화를 유발하고, 이는 다시 서식지의 안정성 저하로 이어질 수 있다. 반대로 서식지 단절이나 질적 저하는 개체군 고립을 심화시키고 외래종 확산을 촉진하여, 군집 교란으로 확산할 가능성이 크다. 따라서, 세 범주에서 확인된 리스크는 독립적인 문제가 아니라 복잡·누적으로 작용하는 구조적 특징을 가진다고 볼 수 있다. 이는 향후 기후적응 전략이 단일 대상이나 부문에 국한되지 않고, 종·군집·서식지 전반을 아우르는 통합적 접근으로 설계되어야 함을 시사한다.

### 3.3. 기후변화 리스크 저감 전략과제 도출

앞선 생물종, 군집, 서식지 범주별 분석과 전문가 설문 조사의 결과는 기후변화 리스크가 단일 차원에서 발생하는 것이 아니라, 서로 맞물려 복합적으로 작용한다는 사실을 보여주었다. 이러한 결과를 토대로 본 연구는 각 범주에서 확인된 리스크 유형과 취약 요인, 그리고 이에 대응하기 위한 방향성을 종합하였다(Table 3). Table 3은 세 범주에서 도출된 핵심 리스크를 체계적으로 정리한 것으로, 종 수준에서는 생리적 반응과 개체군 절멸, 군집 수준에서는 외래종 확산과 교란, 서식지 수준에서는 극한기후

취약성과 연결성 상실 등이 주요한 리스크로 나타났다. 동시에 각 리스크에 대응하는 데 필요한 과제가 병기되었으며, 이는 범주별 대응책을 넘어 통합적 전략 수립의 기초자료가 되었다.

이러한 진단을 종합한 결과, 본 연구는 기후변화 리스크 저감을 위한 네 가지 전략 방향을 제시하였다(Table 4). Table 4는 범주별 리스크와 설문조사에서 확인된 연구·정책 수요를 통합하여 정리한 것으로, 기후영향정보의 과학화, 생태계 기후위험요인의 최소화, 취약생태계 위기관리 강화, 국가적 기후위기 대응 협력 강화라는 네 축으로 구체화했다.

첫 번째 전략은 ‘기후 영향 정보의 과학화’이다. 이는 종, 군집, 서식지 전반에서 공통으로 지적된 기초자료 부족 문제를 해결하기 위한 전략이다. 통합 생태정보 플랫폼 구축, 시계열 자료 축적, 예측 모델 개발을 통해 기후 리스크 진단의 정밀도를 높이고, 과학적 근거에 기반한 정책 수립을 가능하게 한다.

두 번째 전략은 ‘생태계 기후위험요인 최소화’이다. 이 전략은 리스크 발생의 근본 요인을 줄이는 데 초점을 둔다. 생태축 복원과 외래종 관리, 적극적 복원 사업은 개별 리스크의 누적을 완화하는 중요한 수단으로, 이는 Table 3에서 제시된 종·군집·서식지 취약 요인과 직결된다. 특히 외래종 확산에 대한 사전 대응력 제고가 중요한 구성 요소로, 사전적 관리 체계의 정착이 핵심이다.

세 번째 전략은 ‘취약생태계의 위기관리 강화’이다. 고

Table 4. Summary of the four key strategies for reducing climate change risks

Strategy category	Strategy title	Key contents and subtasks	Expected outcomes
Strategy 1	Scientific enhancement of climate impact information	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establishment of an integrated ecological information platform</li> <li>• Collection of time-series and spatially based biodiversity data</li> <li>• Development of sensitivity analysis and prediction models</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Improved accuracy and credibility in risk diagnostics</li> <li>• Strengthening the scientific evidence base for policy making</li> </ul>
Strategy 2	Minimization of climate threats to ecosystems	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restoration of habitat connectivity</li> <li>• Introduction of biosecurity systems</li> <li>• Implementation of proactive ecosystem restoration strategies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enhanced ecosystem resilience</li> <li>• Strengthened response to invasive species expansion</li> </ul>
Strategy 3	Strengthened risk management for vulnerable ecosystems	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precise monitoring in high-risk areas</li> <li>• Scenario-based risk assessments</li> <li>• Creation of alternative habitats and implementation of assisted migration strategies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservation of endemic and vulnerable ecosystems</li> <li>• Proactive response enabled through early warning systems</li> </ul>
Strategy 4	Strengthened national collaboration for climate crisis response	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Development of policy and legal integration platforms</li> <li>• Establishment of central-local government cooperation mechanisms</li> <li>• Expansion of public-private and international cooperation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enhanced inter-ministerial synergy</li> <li>• Strengthened implementation and sustainability</li> </ul>

산, 도서, 습지와 같이 회복탄력성이 낮은 생태계에 특화된 전략이다. 정밀 모니터링, 시나리오 기반 위기 예측, 대체 서식지 조성이나 종 이식(assisted migration)과 같은 대응은 Table 3에서 확인된 고위험 서식지 리스크를 구체적으로 줄이려는 방안이다.

네 번째 전략은 ‘국가적 기후 위기 대응 협력 강화’이다. 이는 정책 분절성과 거버넌스 한계를 극복하기 위한 전략이다. 중앙정부-지자체 간 연계, 법제 간 통합, 민관 및 국제 협력 확대는 Table 4에서 최종적으로 정리된 바와 같이, 다른 세 전략을 실제 정책으로 구현하는 제도적 기반을 마련한다.

이 네 가지 전략은 독립적인 과제가 아니라, 상호 유기적으로 연결되어 있다. 기후 영향 정보의 과학화는 모든 전략의 기반을 제공하고, 위협요인 최소화과 위기관리 강화는 현장에서 직접적인 적응력을 높인다. 마지막으로, 협력 강화는 이러한 전략들을 실행할 수 있는 정책으로 제도화하는 과정이다. 특히 Table 3과 Table 4는 전략 도출 과정에서 개별 리스크-취약 요인-대응 방향 간의 관계를 명확히 보여주며, 단순한 추상적 제안이 아닌 실질적 실행 전략임을 입증한다.

따라서 본 연구에서 제시한 네 가지 전략은 생물종, 군

집, 서식지 차원의 리스크를 통합적으로 고려할 수 있으며, LAMP (Local Adaptation and Management Plan)와 같은 지역 단위 계획과 연계할 수 있는 잠재적 활용 가능성을 가진다. 이러한 전략은 국가적 차원의 기후적응 역량 강화와 생태계 회복탄력성 제고를 위한 기초자료로 참고될 수 있다.

#### 4. 고찰

본 연구는 생물종, 군집, 서식지라는 세 범주를 중심으로 기후변화 리스크를 진단하고, 전문가 설문조사와 정책 분석을 결합하여 전략적 방향을 제시하였다. 그 과정에서 기초자료 부족, 외래종 확산, 취약 서식지의 민감성과 같은 주요 리스크가 확인되었으며(Table 2, Table 3), 이를 바탕으로 기후 영향 정보의 과학화, 기후위험요인 최소화, 취약생태계 위기관리 강화, 국가적 협력 강화라는 네 가지 전략이 도출되었다(Table 4). 이러한 결과는 국내 생태계 기반 기후적응 연구의 현황을 보여주는 동시에, 앞으로의 대응 방향을 논의하는 기초자료로 활용될 수 있다.

본 연구는 국내 기후적응 연구에서 상대적으로 덜 다루어진 생태계 차원의 대응을 구체적으로 제시하였다는 점

에서 의의가 있다. 지금까지 한국의 기후변화 적응 정책은 재난·인프라·보건 등 사회적 영역에 집중되는 경향이 있었으며, 생물다양성과 생태계 관리 차원의 적응은 보조적 위치에 머물러 있었다. 본 연구는 종·군집·서식지라는 다층적 범주를 통해 생태계 전반의 리스크를 정리하고, 전문가 설문조사를 통해 연구과제의 필요성과 실행 가능성을 함께 검토함으로써, 생태계 기반 적응(EbA) 논의를 보완할 수 있는 자료를 제공하였다.

국제적으로는 IPCC (2022)와 IPBES (2019)가 기후변화와 생물다양성의 연계 문제를 종합적으로 다루었으나, 국가별 구체적 실행 전략은 맥락에 따라 해석될 여지를 남겨두고 있다. 본 연구는 한국의 고산, 도서, 습지와 같은 특수한 생태적 맥락과 정책 분절이라는 제도적 조건을 고려하였다는 점에서, 국제 논의와 차별성을 가진다. 다시 말해, 국제적 권고를 단순히 수용하는 수준을 넘어, 국내 맥락에 적용할 수 있는 형태로 구체화하려는 시도로 평가할 수 있다.

이러한 결과는 정책적 측면에서 몇 가지 의미가 도출된다. 국가 차원에서는 생태계 기후리스크 평가의 정밀도를 높이기 위해 데이터 거버넌스를 강화할 필요가 있다. 현재 개별 기관에서 산발적으로 수행되는 자료 축적 방식을 넘어, 통합 생태정보 플랫폼을 통해 종·군집·서식지 자료를 일관되게 관리해야 한다. 또한 외래종 확산을 비롯한 군집 차원의 교란은 기존의 물리적 방제 중심 정책으로는 대응에 한계가 있으므로, 기후 시나리오를 반영한 선제적 관리와 생태학적 방제 방안으로 전환이 필요하다. 고산, 도서, 습지와 같은 취약 서식지의 경우에는 기존 보호구역 중심의 정적 보전 체계에서 벗어나, 보호구역의 경계 재설정이나 대체 서식지 확보와 같은 동적 관리 방식이 검토될 수 있다. 더불어 중앙정부와 지자체, 부처 간 정책 연계 강화를 통해 실행 가능성을 높이는 제도적 기반 마련이 요구된다.

전문가 설문조사 과정에서는 정책 수립자와 현장 실무자 간 인식 차이도 나타났다. 정책 담당자들은 제시된 전략이 제도와 연계될 가능성에는 긍정적이었으나, 실제 현장 적용 가능성에 대해서는 다소 회의적인 견해를 보였다. 이는 기술적 여건, 인프라 수준, 예산 확보, 주민 수용성 등 다양한 요소가 동시에 충족되지 않으면 전략 실행이 어렵다는 현실을 반영한다. 따라서 효과적인 실행을 위해서는 단순한 과제 나열을 넘어, 데이터 기반 시각화 도구, 단계별 대응 매뉴얼(예: 조기 경보, 회피, 완화, 복원), 이해관계자 간 협력 메커니즘 구축과 같은 구체적 장

치가 필요하다. 또한 지역의 생물정보 활용뿐 아니라 주민 참여와 협력을 제도적으로 유도할 방안도 병행되어야 한다. 이러한 점은 제시된 전략이 현장에서 실질적 효과를 내기 위해 고려해야 할 조건들을 보여준다.

그런데도 본 연구에는 몇 가지 한계가 존재한다. 설문조사에 참여한 전문가 수가 제한적이어서, 과제의 우선순위가 전문가 집단의 편향을 반영했을 가능성을 완전히 배제하기 어렵다. 또한 기초자료 부족으로 인해 일부 범주에서는 정량적 분석보다 정성적 진단에 의존해야 했다. 향후 연구에서는 종별 생리적 반응에 대한 실험적 자료 축적, 군집 내 상호작용에 대한 장기 모니터링, 서식지 회복력 정량화 모델 개발 등이 필요하다. 더 나아가 기후변화로 인한 생태계서비스 손실을 경제적 가치로 환산하고, 사회·경제적 요인과 생태적 요인을 함께 고려하는 통합적 분석도 요구된다. 예를 들어, 습지의 홍수 저감 기능을 경제적 비용 절감 효과로 환산하거나, 연안 갯벌의 생태계 서비스 손실이 지역 어업 수익 감소와 직결되는 양상을 분석할 수 있다. 또한 도시 녹지의 감소가 열섬현상과 의료비 증가로 이어지는 관계, 지역 주민의 참여 의지와 개발 압력 간 충돌과 같은 사회적 수용성 문제 역시 함께 고려해야 한다. 이러한 분석은 기후적응 전략을 단순한 생태학적 접근에서 벗어나, 사회·경제적 차원까지 통합하는데 이바지할 수 있다.

본 연구는 국내 생태계 기반 기후적응 전략 수립을 위한 과학적 근거와 정책적 시사점을 제시하였다. 다만 이러한 전략이 실질적 성과로 이어지기 위해서는 기초자료 확충과 제도적 협력이 필수적이며, 이는 향후 연구와 정책의 주요 과제로 남는다.

## 5. 결론

본 연구는 생물종, 군집, 서식지라는 세 범주를 중심으로 기후변화 리스크를 진단하고, 전문가 설문조사와 정책 분석을 결합하여 구체적인 전략 방향을 제시하였다. 분석 결과, 세 범주에서 공통으로 기초자료 부족과 장기적 모니터링의 필요성이 확인되었으며, 종 수준에서는 생리적 반응과 절멸 위험, 군집 수준에서는 외래종 확산, 서식지 수준에서는 극한기후 취약성이 핵심 리스크로 도출되었다(Table 2, Table 3). 이를 종합하여, 기후 영향 정보의 과학화, 기후위험요인 최소화, 취약생태계 위기관리 강화, 국가적 협력 강화라는 네 가지 전략을 제안하였다(Table 4).

정책적으로는 통합 생태정보 플랫폼 구축, 외래종 확산

에 대한 선제적 관리, 취약 서식지의 동적 보전 체계, 중앙-지방 간 거버넌스 연계 강화가 주요 과제로 제시되었다. 아울러 설문조사에서 확인된 바와 같이, 정책 연계 가능성이 높게 평가됐지만 현장 적용 가능성에 대해서는 다소 회의적 시각이 존재했다. 이는 전략이 실제 효과를 거두기 위해서는 기술적 여건, 인프라, 예산, 주민 수용성 등 다양한 요소가 함께 고려되어야 함을 의미한다.

그런데도 본 연구는 전문가 집단의 제한된 표본, 일부 범주에서의 정량적 자료 부족이라는 한계를 가진다. 향후 연구에서는 종별 생리 반응 실험, 군집 상호작용 장기 모니터링, 서식지 회복력 정량화와 같은 기초 연구가 보완되어야 한다. 더 나아가 기후변화로 인한 생태계 서비스 손실을 경제적 가치로 환산하고, 사회·경제적 요인을 포함한 통합 분석이 이루어져야 한다. 종합하면, 본 연구는 기후변화 리스크 진단과 전략 수립을 위한 과학적 근거와 정책적 방향을 함께 제시하였으며, 이는 향후 국가 및 지역 단위의 LAMP와 연계될 수 있는 기초 자료로 활용될 수 있다.

## 사사

본 연구는 2025년 국립생태원 「전국 생물종 서식지에 대한 정량적 기후변화 리스크 평가 연구」(NIE-고유연구-2025-35)를 위한 연구비 일부 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## Reference

- Ahn Y, Kang Y, Park CS, Kim HG. 2016. The characteristics and improvement directions of regional climate change adaptation policies in accordance with damage cases (In Korean with English abstract). *J Environ Impact Assess* 25(4): 296-306. doi: 10.14249/eia.2016.25.4.296
- Bellard C, Bertelsmeier C, Leadley P, Thuiller W, Courchamp F. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecol Lett* 15(4): 365-377. doi: 10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x
- CBD (Convention on Biological Diversity). 2022. Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework (GBF): Decision adopted by the conference of the parties at its fifteenth meeting (COP15). Montreal, Canada: Secretariat of the Convention on Biological Diversity.
- Foden WB, Butchart SHM, Stuart SN, Vié JC, Akçakaya HR, Angulo A, DeVantier LM, Gutsche A, Turak E, Cao L, Donner SD, Katariya V, Bernard R, Holland RA, Hughes AF, O'Hanlon SE, Garnett ST, Şekercioğlu ÇH, Mace GM. 2013. Identifying the world's most climate change vulnerable species: A systematic trait-based assessment of all birds, amphibians and corals. *PLoS ONE* 8(6): e65427. doi: 10.1371/journal.pone.0065427
- Hong S, Jang I, Jeong HM, Yeo I, Shin MS, Kim JY, Kim D, Park S, Ahn JS, Lee HR et al. 2020. Climate change risk assessment for Korean ecosystem. Seocheon-gun, Korea: National Institute of Ecology.
- IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). 2019. Global assessment report on biodiversity and ecosystem services. intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services. doi: 10.5281/zenodo.3831673
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2022. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Working group II contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK and New York, NY: Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781009325844
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2020. Global standard for nature-based solutions: A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. Gland, Switzerland: IUCN. doi: 10.2305/IUCN.CH.2020.08.en
- Ministry of Environment. 2023. The 3rd national climate change adaptation plan and strengthened measures for climate crisis adaptation. Sejong, Korea: Ministry of Environment.
- Park JH. 2023. The status and characteristics of local climate change adaptation plans in Korea (In Korean

- with English abstract). *J Clim Change Res* 14(5): 561-568. doi: 10.15531/KSCCR.2023.14.5.561
- Parmesan C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 37: 637-669. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100
- Parmesan C, Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421(6918): 37-42. doi: 10.1038/nature01286
- Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C, Pounds JA. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421(6918): 57-60. doi: 10.1038/nature01309
- Seebens H, Essl F, Blasius B, Jeschke JM. 2021. Projecting the continental accumulation of alien species through to 2050. *Global Change Biol* 27(5): 970-982. doi: 10.1111/gcb.15333