

Research Paper

기후변화 리스크 평가를 위한 생태계 유형분류 방안 검토

— 국내 토지피복분류 적용성을 중심으로 —

여인애 · 배해진 · 홍승범

국립생태원 융합연구실

A Study on Categorizing Ecosystem Groups for Climate Change Risk Assessment

— Focused on Applicability of Land Cover Classification —

Inae Yeo · Haejin Bae · Seungbum Hong

National Institute of Ecology

요약 : 본 연구는 국내 생태분야 리스크 평가 및 적응대책 수립의 공간적 기준이 될 수 있는 생태계 유형 분류방안 검토를 목적으로 하였다. 이를 위해, 생태분야 기후변화 리스크 평가와 적응대책의 특징, 국내의 리스크 평가에서 적용하는 생태계/서식지 유형분류 현황 및 관련 데이터를 조사하였다. 영국을 비롯하여 유럽 등지에서 일반적으로 생물종다양성 및 생태계서비스 평가를 위한 공간정보DB로 토지피복분류가 널리 활용되고 있음에 착안하여, 국내 토지피복분류의 적용성을 정량적으로 검토하였다. 그 결과, 기후변화 리스크 평가 및 적응대책 수립을 위한 생태계 유형분류 시 현재 국내 대분류 토지피복 체계만으로는 분류군별 서식 경향성을 거의 알 수 없기에 대분류를 그대로 적용하는 것은 한계가 있을 것으로 생각된다. 우리나라 국토 피복 전반을 차지하는 산림 생태계(62.3%) 및 농경지 생태계(25.0%) 유형의 세분화와 함께, 국토대비 면적은 작지만 다양한 분류군이 서식하는 습지생태계(2.9%), 특수 분류군이 서식하는 연안(0.4%) 및 해양생태계(0.6%), 도시생태계(6.1%)에 대한 분류가 고려되어야 한다. 추후 산림, 농경지 피복 분류에 있어 중분류 체계 이하의 세분화가 필요하며, 국토 대비 면적에 비해 분류군의 서식지 선호비율이 높은 내륙습지, 해양/해안 서식지, 도시와 자연생태계의 전이지역 등에 대한 반영 역시 필요할 것으로 생각된다.

주요어 : 기후변화, 리스크 평가, 적응대책, 생태계 부문, 토지피복분류

Abstract : This study showed the national ecosystem classification for the spatial standards of ecosystems-based approaches to the risk assessments and adaptation plan. The characteristics of climate change risk assessment, implement national adaptation plans, and ecosystem/habitat

First Author: Inae Yeo, Division of Ecosystem Services & Research Planning, National Institute of Ecology, Seocheon-gun 33657, Korea, Tel: +82-41-950-5802, E-mail: iayeo@nie.re.kr

Corresponding Author: Seungbum Hong, Division of Ecosystem Services & Research Planning, National Institute of Ecology, Seocheon-gun 33657, Korea, Tel: +82-41-950-5804, E-mail: sbhong@nie.re.kr

Co-Authors: Haejin Bae, Division of Ecosystem Services & Research Planning, National Institute of Ecology, Seocheon-gun 33657, Korea, Tel: +82-41-950-5471, E-mail: hjbae@nie.re.kr

Received: 5 September, 2017. Revised: 11 December, 2017. Accepted: 12 December, 2017.

classification status was evaluated. Focusing on the land cover classification widely utilized as spatial data for the assessments of biodiversity and ecosystem services in the UK and other countries in Europe, the applicability of the national land cover classification for climate change risk assessments was reviewed. Considering the ecosystem classification for climate change risk assessment and establishing adaptation measures, it is difficult to apply rough classification method to the land cover system because of lack of information on habitat trend by categorization. The results indicated that forest ecosystems and agro-ecosystem occupied 62.3% and 25.0% of land cover, respectively, of the entire country. Although the area is small compared with the land area, wetland ecosystem (2.9%), marine ecosystem (0.4%), coastal ecosystem (0.6%), and urban ecosystem (6.1%) can be included in the risk assessments. Therefore, it is necessary to subdivide below the medium classification for the forest and agricultural land, as well as Inland wetland, which has a higher proportion of habitat preference of taxa than land area, marine / coastal habitat, and transition areas such as urban and natural ecosystem.

Keywords : Climate change, Risk assessment, National adaptation strategy, Natural ecosystem, Land cover classification

Abbreviation:

AR5	Fifth Assessment Report	제5차 기후변화평가보고서
BISE	Biodiversity Information System in Europe	유럽생물종다양성정보시스템
CCRA	Climate Change Risk Assessment	기후변화리스크평가
CLC	CORINE Land Cover	토지피복분류
EUNIS	European Nature Information System	유럽 서식지 정보
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	기후변화에 관한 정부간 협의체
NEA	UK National Ecosystem Assessment	영국 국가 생태계 평가
NLCD	National Land Cover Database	미국 국가토지피복 데이터베이스
UKCIP	UK Climate Impact Programme	영국 기후영향프로그램
USGS	U.S. Geological Survey	미국지질조사국
WG	Working Group	작업반

I. 서론

제40차 IPCC 총회에서 승인·채택된 제5차 기후변화평가보고서(Fifth Assessment Report, AR5) 중 기후변화 영향, 적응, 취약성(Impacts, Adaptation, and Vulnerability) 평가를 담당하는 작업반(Working Group, 이하 WG) 2에서는 수자원, 생태계, 식량 및 산림, 해안, 산업, 보건 부문의 리스크 평가 및 적응에 대한 고려를 강조하였다(WG2 AR5 Phase 1 Report Launch 2014). 이는 기후변화로 인해 리스크의 패턴과 잠재적 이익이 어떻게 변화하는지를 평가하고, 적응과 완화 조치를 국가 단위 정책 및 계획 수립에 반영하도록 촉구하는 것이다. 유럽을 비롯한 관련국가에서는 해당 합의사항을 준수하기

위한 노력이 한창 진행되고 있는 상황이며(Chae et al, 2016) 우리나라 역시 기후변화 대응을 리스크 평가 및 적응대책에 의한 관리 체계로 전환하기 시작하였다(Cho et al, 2014; Park et al, 2014; 관계부처 합동 2015). 2015년 12월 범부처 차원에서 제 2차 국가 기후변화 적응대책이 수립된 가운데 이를 위하여, 환경정책·평가연구원(Korea Environment Institute, 이하 KEI)에서는 해양/수산, 농축산, 산업/에너지, 국토/연안, 산림/생태계, 물, 건강 등 7개 부문의 국가 기후변화 리스크를 분석 및 평가하고 제2차 기후변화 적응대책의 과학적 근거기반을 마련하였다(Park et al, 2014). 그러나 IPCC WG2에서는 생태계를 독자적 부문으로 명시한데 반해, 우리나라에서는 산림

/생태계 부문을 통합하여 서식지와 종의 특성, 산림 생태계의 재화 및 서비스 공급의 관점에서 리스크 항목을 설정하고 전문가 패널에 의한 정성적 평가를 실시하였다.

기후변화는 생물종다양성과 서식지 변화에 직접적인 영향을 미치고 있으며, 서식지와 생물종이 견딜 수 있는 기후 한계와 저항 능력이 상이하다는 사실이 장기간의 국내외 연구 및 조사를 통해 입증되고 있다(UK Climate Change Risk Assessment 2017: Evidence Report). 국외에서는 이러한 연구조사에 근거하여, 생태계 전반에 걸쳐 기후변화의 영향을 받는 서식지와 생물종 특성에 따라 리스크를 평가하고 적응대책을 수립하고 있다(Mawdsley et al. 2009; Webster et al. 2016; Alderman & Hobday 2017). 유럽에서는 영국을 필두로 기후변화로 인해 나타나는 국가단위의 생물다양성 및 생태계서비스 리스크를 평가하고 발생가능성이 큰 리스크 항목과 민감하고 취약한 생태계 유형을 중심으로 국가 적응대책을 수립하고 있는 실정이다.

그러나 우리나라의 경우 기후변화에 따른 가뭄, 홍수, 폭염 등의 재해와 이에 따른 자원 및 에너지 리스크와 관련 적응대책 연구가 중심으로 이루어져 왔으며, 생태분야 리스크 평가 및 적응대책 연구는 부족한 실정이다. 그나마 일부 존재하는 생태분야 관련 연구는 IPCC 제5차 보고서의 리스크 개념이 반영되지 않은 취약성 평가 단계에 머무르고 있으며, 통계 모형 혹은 공간모델링 기법을 활용한 미래 변화 예측을 통해 한반도 지역 산림의 취약성 평가 사례가 주를 이룬다. 그 사례로, 미래(2050년) 기후변화에 따른 산림기후대 및 산림식생의 분포를 환경요소(기후, 지형, 토양)들과의 통계모형으로 예측하고 기후변화 속도를 따라가지 못하여 발생하는 취약지역의 특성(수평 확장, 수평 감소, 수직 이동)에 대해 산림기후대 및 군락단위 산림식생의 취약성을 평가한 사례(Kim & Lee 2006), 현재(2000년) 및 미래(2050년) 기후변화에 따른 한반도 지역의 고산, 아고산 식생 분포를 통계모형에 의해 예측하고 식생의 출현 여부에 따른 취약성을 평가한 사례(Lee & Kim 2007), 한 국형 산림분포 모델을 활용하여 기후요소에 따른 현

재(1999년) 및 미래(2065년, 2099년) 잠재산림분포를 예측하고 산림분포의 변화빈도(민감성) 및 기후변화에 따른 변화 방향(적응성)을 조합하여 잠재 산림분포 취약성 및 행정구역별 산림분포 기후변화 취약성을 평가한 사례(Lee et al. 2011), 현재(2000년) 및 미래(2050년) 기후변화에 따른 남한 산림생태계 영향을 산림생태계 분포 및 기능모델, 사회·환경적 지표를 이용하여 취약성 평가 기준인 민감도, 노출, 적응능력의 지표에 따라 예측(Byeon et al. 2012)한 사례가 대표적이다. 또한 개별 수종에 대해서는 현재(2000년) 및 미래(2100년)에 대해 기후변화에 따른 리기다소나무림의 잠재 생육 적지분포 변화를 기후요소에 대한 정규분포를 통해 예측(Kim et al. 2012)한 사례를 들 수 있다. 또한 산림생태계 중 법적 보호 및 보전 조치가 취해지는 남한의 21개 국립공원을 대상으로 지리정보 기반 기후적응 툴(Local government Climate Change adaptation toolkit based on GIS, LCCGIS)을 활용하여 현재(2000년) 및 미래(2020년, 2050년) 기후노출, 민감도, 적응능력 지표를 도출하고 국립공원의 현재 취약성의 유형과 미래 취약성의 변화를 평가(Kim & Kim 2016) 한 연구가 이루어진 바 있다.

이 외에도 기후변화에 따른 해수면 상승의 취약성을 평가하기 위해, 미래 해수면 상승 시나리오(0.2m, 0.4m, 0.5m, 0.6m, 1.0m, 2.0m)별 국내 서해안 총연장과 침수면적 및 토지피복유형(호소, 습지 등)에 따라 해안침식 취약지를 도출(Jang & Kim 2009)한 연구를 비롯하여, 기후변화가 야기하는 호소의 수질 오염 취약성에 대해 금강 수계 17개의 호소에 대해 호소 취약성-탄력성 지수를 활용하여 노출, 민감도, 적응능력 지표를 적용하여 평가(Kim et al. 2014)한 연구가 진행된 바 있다. 이상의 사례와 같이 우리나라의 생태분야 기후변화 취약성 평가 연구는 산림 식생 및 일부 수종 중심의 연구가 주를 이루며 국가 전체 생물종과 생태계 유형을 대상으로 하는 생물종의 서식지 이동, 생물계절 변화, 군집구조 및 상호작용의 변화 등에 대한 국내 연구 성과 및 조사 데이터는 극히 제한적인 실정이다.

우리나라에서는 국내 생태계의 상당 부분을 차지

하는 산림생태계를 비롯하여 국가 생태계 유형을 고려할 수 있도록 기후변화에 따른 리스크를 평가하고 과학 근거에 기반한 적응계획을 수립하는 것이 바람직할 것이다. 그 첫단계로, 국내 생태분야 리스크 평가의 유형 분류가 전제되어야 각 생태계 유형별 위해, 노출, 취약성의 파악과 함께 리스크 평가가 가능하다. 이에 본 논문에서는 국내 생태분야 리스크 평가 및 적응대책 수립의 공간적 기준이 될 수 있는 생태계 유형 분류 방안 검토를 목적으로 하였다. 구체적으로 국가차원의 생태분야 기후변화 리스크 평가 및 적응대책 수립 사례로부터 다양한 생태계 유형 적용 방안을 파악하고, 국내 생태분야 리스크 평가 및 적응대책 수립에 적합한 생태계 유형 분류에 대해 제언한다. 이상에서 명시하였듯이, 우리나라 생태분야의 기후변화 취약성/리스크 평가 및 적응대책에 대한 국가적 관심과 해결 노력은 산림생태계의 취약성 등 일부 이슈에 치우쳐 있으며, 리스크 관리체계에서 리스크 평가와 적응대책의 연결고리가 국외에 비해 다소 미약하고, 리스크 평가 및 적응대책 수립에 대한 연구 성과와 조사 데이터 역시 양과 질적인 면에서 극히 제한적인 실정이다. 이에 국내 생태분야 리스크 평가 및 적응대책 수립에 적합한 생태계 유형 분류 제언에 앞서 생태분야 기후변화 리스크 관리체계와 생태계 유형별 리스크 평가 및 적응대책을 수립한 국외의 다

양한 모범 선례를 확인하는 작업이 반드시 필요하다. 여기서, 생태분야 리스크 평가는 국가별 방법론이 상이하므로, 우리나라 리스크 평가 및 적응대책 수립 방향에 부합하는 유형 분류의 범위와 방법론을 논리적으로 찾는 과정이 뒷받침 되어야 할 것이다. 이를 위해, 생태분야 기후변화 리스크 평가와 적응대책의 특징, 국내외 리스크 평가에서 적용하는 생태계/서식지 유형분류 현황 및 관련 데이터를 조사하였다. 영국의 기후변화 리스크 평가(Climature Change Risk Assessment, 이하 CCRA)를 비롯하여 유럽 등지에서 생물종다양성 및 생태계서비스 평가에 활용되는 공간정보DB로 토지피복분류가 일반적으로 활용됨에 착안하여, 기후변화 리스크 평가 및 적응대책에 활용하기 위해 토지피복분류의 적용성을 검토하였다. 그 결과로, 토지피복분류 체계를 적용한 생태계 유형분류 방안의 타당성과 한계를 도출하고 추후 보완방안을 제시하였다.

II. 연구방법

본 논문에서는 생태분야의 범위에서 국내외 기후변화 리스크 평가 및 적응대책 보고서 등 관련 문헌을 분석하고, 토지피복분류도와 생물종 조사자료의 공간정보 분석을 통해 생태계 유형 분류방안을 검토하였다. 본 연구진행의 절차는 Figure 1과 같으며, 각

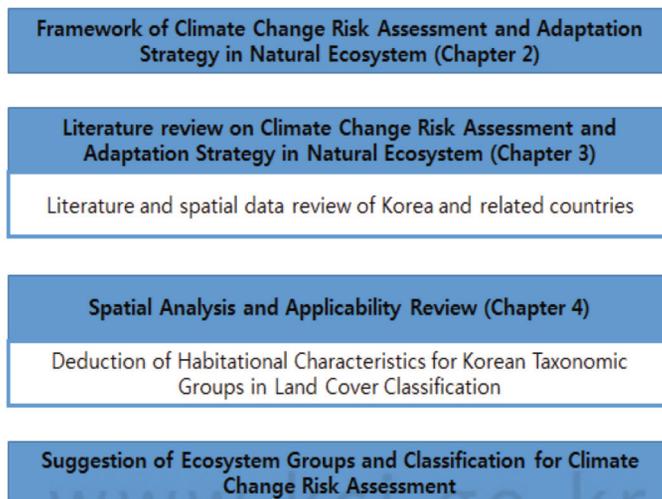


Figure 1. Process of study

Table 1. The research method and data applied in this study

Chapter	Research method	Data analyzed/utilized
3	Deduction of conceptual approach and process for climate change risk assessment and adaptation strategy in ecology sector	Climate change vulnerability/risk assessment and adaptation strategy of national and local government reports in the world (Europe, Asia, North America, Oceania etc)
4	Comparison of the characteristics of spatial DB utilized for risk assessment and adaptation strategy in ecology sector of advanced cases in other countries and review of theoretical applicability for parallel DB in Korea	Spatial information of Ecosystem (European Nature Information System, CORINE Land Cover, Biodiversity Information System in Europe, etc)
5	Deduction of habitat use in land cover by overlaying land cover and taxonomic group and review of data applicability of ecosystem classification using Land Cover map classification in Korea	Korea Land Cover Map level 1 and 2 (2009) The 3rd Natural Environment Survey (2006~2013)

장별로 적용된 연구방법론과 활용 데이터를 Table 1에 나타내었다. 3장에서는 생태분야 기후변화 리스크 평가와 적응대책의 개념적 접근 및 절차에 대해서 살펴보았다. 여기서는 유럽, 아시아, 북아메리카, 오세아니아 지역 중 기후변화에 따른 생태분야 리스크 평가 및 적응대책을 수립한 정책 사례를 소개하고 생태분야 리스크 관리체계의 모범 선례를 통해 국내 체계의 방향성을 확인하였다. 4장에서는 국외 리스크 평가 및 적응대책에 활용된 생태계 유형분류와 함께 관련 공간정보DB의 특징을 비교하여 유사한 국내 공간정보DB의 적용성을 이론적으로 검토하였다. 이에, 유럽 자연정보시스템, 토지피복지도, 생물종다양성 정보 등 기후, 토지, 생물종정보를 공간정보DB로 통합 수록한 사례를 확인하여 유형화 하는 작업을 거쳐, 본 연구의 목적에 맞는 생태계 유형분류 기준을 도출하였다. 5장에서는 국가 토지피복분류도와 제3차 자연환경조사 자료를 활용하여 토지피복 및 생물 분류군의 공간분석을 통해 토지피복별 분류군 서식/이용 특성과 함께 국내 토지피복분류도의 생태계 유형분류 적용성을 검토하였다. 여기서 제3차 자연환경조사 자료가 2006~2013년도에 이루어진 점을 감안하여 생물종 조사시기와 당시의 토지피복현황의 시간적 오차를 줄이기 위해 2009년 토지피복 대분류/중분류 지도를 활용하였다. 마지막으로 6장에서는 국내 토지피복분류도의 생태계 유형분류 방안에 대한 시사점과 추후 개선점을 제시하는 절차와 방법론으로 진행하였다.

III. 생태분야 기후변화 리스크 평가 소개

3장에서는 영국 CCRA 등 국외 주요 선진국의 정책보고서와 우리나라 정책보고서에서 다루고 있는 생태분야 리스크 평가 방법 및 적응대책과의 연계방안을 조사하였다. 또한 기후변화에 따른 취약성 및 리스크 평가와 관련된 연구문헌을 조사하여, 생태계 부문 평가 방법 및 사례를 검토하였다.

1. 리스크 평가 개요 및 절차

생태분야 리스크 평가 현황파악을 위해 영국의 CCRA 등 해외 국가(미국, 유럽, 아시아) 및 국내의 방법론과 절차를 비교하였다(Table 2). CCRA 1차 보고서(UK CCRA 2012)에서는 생물다양성 및 생태계서비스(Biodiversity and Ecosystem Services) 부문의 기후변화 영향을 파악하고, 취약성을 도출한 후 현재와 미래의 리스크를 평가하였다. CCRA 근거 보고서(UK CCRA Evidence Report 2017)에서는 1차 보고서에 대한 타당성을 검토하였다. 11개 전 부문을 자연환경 및 자연자산(Natural Environment and Natural Assets) 외 4개 분류 Infrastructure, People and the Built Environment, Business and Industry, International Dimensions로 재편하고, 부문간 공통 이슈(Cross Cutting Issues) 분류를 신설하였다. 캐나다, 호주, 뉴질랜드와 같은 영연방 국가의 경우 CCRA와 유사한 절차와 방법으로 리스크 평가를 진행하였다(Canada 2014; Australia 2009; New Zealand

Table 2. Methodology and process of climate change assessment in involved countries

Process No.	UK	Australia, New Zealand, Canada	Japan	Korea (KEI)
1	Identify and characterise the impacts	Establish context	Prediction and diagnosis of imminent global climate change	List and Identify preliminary risks
2	Assess vulnerability	Identify hazards and describe risk	Climate change projection contributing to stabilization target setting	Screen significant risks
3	Identify the main risks	Analyse risks	Development of basic technology for risk information on climate change	Analyse and Assess risks (from Related experts)
4	Assess current and future risk	Evaluate risks	Precise impact assessments on climate change	Deduce priority risks
5	Report on risks	Treat risks	-	-

2008). 이 절차는 기후변화에 따른 영향의 종류와 발생 양상 확인, 리스크의 발생 가능성 및 결과 분석, 리스크 평가, 유의성 및 중요성에 따른 순위 설정, 적응대책 및 지방정부 정책과 통합된 실행계획 수립의 절차로 리스크를 관리하는 것이다. 캐나다 및 호주의 경우 리스크를 기후변화에 따른 영향 이벤트(Impact Event)와 그에 따른 발생가능성(Likelihood), 결과(Consequences)의 함수로, 뉴질랜드에서는 기후변화에 따른 영향/결과(Impact/Consequence)에 대해 빈도(Frequency)와 위해 발생가능성(Likelihood)의 함수로 평가 및 관리하고 있다. 일본의 경우 기후변화 시나리오에 따른 미래 예측과 전망 및 리스크 정보 기술개발과 연계하여 기후변화 영향을 평가하였다. 우리나라 국가단위 리스크 평가는 7개 부문(건강, 물, 산림/생태계, 국토/연안, 산업/에너지, 농축산, 해양/수산)으로 기후변화 리스크 예비목록(안) 작성, 리스크 목록 구축, 전문가 평가, 리스크 우선순위 도출과 같이 4단계에 걸쳐 진행되었다(Park et al, 2014).

정책 보고서 이외에도, 생태분야에서 종과 서식지 리스크 평가를 수행한 해외 연구사례는 다음과 같다. 해양 관리에 대한 리스크 평가(Stelzenmuller et al, 2010), 해양 서식지 생태계서비스 취약성 평가(Cabral et al, 2015), 수생태계서비스 영향 평가(Sample et al, 2016)에 대한 다수의 연구사례에서 민감도, 노출, 적응능력 등을 등급별로 정량화 한 후 리스크 총점을 계산하는 방식이 적용되었다. 수학적 방법론을 적용

하여 특정 종의 민감도 확률 밀도함수를 도출하거나, 종의 리스크, 서식지 리스크, 기후변화 확률함수, 종과 서식지의 취약성 함수를 개발하여 정량적으로 평가한 사례는 다음과 같다. Stelzenmuller(2010)는 해양생태계 관리 리스크 평가를 위해 종의 민감도 확률 밀도함수를 도출하였으며, Samhuri & Levin(2012)의 연구에서는 해안생태계 종의 리스크를 노출과 민감도의 함수로 나타내었다. Chen et al, (2012)은 물환경 생태계 리스크 평가를 위해 서식지 리스크를 노출도, 영향도, 적응능력의 함수로 나타내었으며, Okey et al, (2012)은 해양생태계의 취약성을 기후영향과 지역의 적응능력 함수로 나타내었다. Cabral et al, (2015)는 해양 서식지 생태계의 생태계서비스 취약성을 도출하기 위해 서식지 리스크를 노출, 영향에 대한 함수로 평가하였으며, Xu et al, (2016)은 자연식생의 취약성 평가를 위해 노출, 민감도, 적응능력의 함수를 적용한 바 있다.

2. 기후변화 적응대책 수립과의 통합접근

영국 기후영향프로그램(UK Climate Impact Programme, 이하 UKCIP)의 정의에 따르면 기후변화 리스크 평가 프레임워크의 일반적인 개념은 리스크 평가 결과를 바탕으로 적응 대책을 수립 및 실행하고 그 결과를 리스크 분석 및 평가 체계에 환류하는 방식으로 리스크를 관리하는 것이다(UKCIP 2003) (Figure 2). 생태분야에서는 기후변화에 따른 서식지

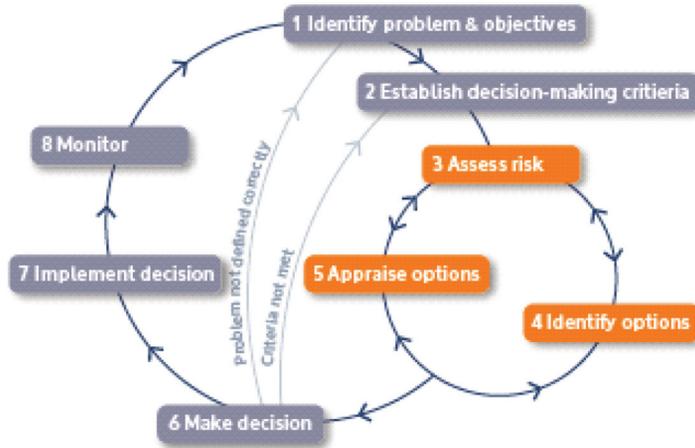


Figure 2. UK Climate Impact Programme (UKCIP) risk framework

와 생물종의 현재 및 미래 리스크를 예측하여, 리스크 저감 조치를 적응대책 내에 마련하고 향후 모니터링을 통해 지속적으로 리스크를 관리하는 것이다. 우리나라의 경우 제1차 기후변화 적응대책에서 과학기반 기후변화 정보와 생태계관리 분야에 대한 대책 미흡이 지적되어 2차 적응대책에서 국내 핵심 서식지와 기후변화 취약 지표 생물종에 근거하여 생태계 보전·복원·관리 대책과 연동할 것을 명시하였다(관계부처 합동 2015). 현재까지 진행된 국내 기후변화 리스크 평가 및 국가 기후변화 적응대책은 부문별 상세계획 수립의 틀만을 제시하는 것으로, 국가 생태계 전체를 대상으로 서식지와 종 중심의 생태계 유형 분류를 충분히 반영하여 적용 실행 및 리스크 평가와 연동할 필요가 있을 것이다. 여기서 국제사회 기후변화 적응 체계와 맥락을 같이 하고, 정책과의 연계성, 학문적 통용성의 관점에서 서식지, 생물종 및 군집 특성을 반영한 대표 생태계의 종류와 수준(level)에 대한 합리적인 설정이 필요하다.

IV. 국내외 리스크 평가 체계 내 생태계 유형분류 현황

1. 국외 생태계 유형분류

1) 영국 기후변화 리스크 평가 및 국가생태계 평가

CCRA 1차 보고서에서는 생물종다양성과 생태계

서비스를 통합하여 생태계의 건강한 기능 유지의 척도로 육상, 담수, 해안(Coastal) 환경을 종과 서식지 관점에서 평가하였다. 여기서 적용한 생태계 유형은 영국의 국가 생태계 평가(UK National Ecosystem Assessment, 이하 NEA)와 동일한 8개 유형의 국가 단위 서식지 해양(Marine), 해안(Coastal margins), 경작지(Cultivated farmland), 반자연 초지(Semi natural grasslands), 목초지(Woodlands), 산간/황무지/늪(Montane, heath and bog), 담수 및 습지(Freshwater and wetlands), 도시(Urban)이며, 이는 토지피복분류체계를 따른다. CCRA 및 NEA에서 활용한 생태계 맵은 유럽 토지피복분류(CORINE Land Cover, 이하 CLC)와 유럽 서식지 정보(European Nature Information System, 이하 EUNIS)를 연계하여 구축된 유럽생물종다양성정보시스템(Biodiversity Information System in Europe, 이하 BISE)으로, 서식지 유형 분류와 각 유형에 대응되는 공간정보를 동시에 제공하고 있다(Table 3). BISE는 아이치 타겟에 대해 EU 차원의 실행을 지원할 수 있도록 생물다양성 데이터와 정보를 제공한다(<http://biodiversity.europa.eu/maes/typology-of-ecosystems>). EUNIS는 지형, 토양, 기후 등의 요인으로 형성된 11개 서식지 유형(해양 서식지, 해안 서식지, 내부 표층수, 진흙/늪지/소택지, 초지 및 광엽초본/이끼/지의류, 황야지대와 덩불 및 툰드라, 목초지와 숲 및 기

Table 3. Ecosystem classification applied in Biodiversity Information System for Europe (BISE)

Ecosystem Classification		Habitat	Land Cover
level 1	level 2		
Terrestrial	Urban	Constructed, industrial and other artificial habitats	Urban, industrial, commercial and transport areas, urban green areas, mines, dump and construction sites
	Cropland	Regularly or recently cultivated agricultural, horticultural and domestic habitats	Annual and permanent crops
	Grassland	Grasslands and land dominated by forbs, mosses or lichens	Pastures and (semi-) natural grasslands
	Woodland and forest	Woodland, forest and other wooded land	Forests
	Heathland and shrub	Heathland, scrub and tundra (vegetation dominated by shrubs or dwarf shrubs)	Moors, heathland and sclerophyllous vegetation
	Sparsely vegetated land	Unvegetated or sparsely vegetated habitats (naturally unvegetated areas)	Open spaces with little or no vegetation (bare rocks, glaciers and beaches, dunes and sand plains included)
	Wetlands	Mires, bogs and fens	Inland wetlands (marshes and peatbogs)
Fresh water	Rivers and lakes	Inland surface waters (freshwater ecosystems)	Water courses and bodies incl. coastal lakes (without permanent connection to the sea)
Marine	Marine inlets and transitional waters	Pelagic habitats	Coastal wetlands: Saltmarshes, salines and intertidal flats Lagoons
	Coastal	Pelagic habitats, Coastal waters Benthic habitats	Coastal, shallow-depth marine systems that experience significant land-based influences (50-70m)
	Shelf	Pelagic habitats: Shelf waters Benthic habitats	Marine systems away from coastal influence, down to the shelf slope(70-200m)
	Open ocean	Pelagic habitats: Oceanic waters Benthic habitats	Marine systems beyond the shelf slope with very stable temperature and salinity regimes(200m~)

Source: <http://biodiversity.europa.eu/maes/typology-of-ecosystems>

타 나무 식재지, 내륙의 분산 식재지, 농경지 서식지, 건설/산업 등 인공 서식지, 복합서식지) 정보를 담고 있다. 또한 CLC 토지피복분류는 5개의 대분류(인공 피복, 농업 지역, 산림 및 반자연 지역, 습지, 수역)를 다시 15개의 중분류, 44개의 세분류로 상세화 하고 있다.

2) 일본

일본의 기후변화 영향평가 및 적응대책 프로젝트에서는 7개 분류 및 11개 상세부문(농업, 어업, 물환경, 수자원, 자연생태계, 자연재해/해안지역, 건강, 산업/경제활동, 생활/도시환경 등)의 영향에 대해 중요성(Significance), 시급성(Urgency), 신뢰성(Confidence)을 평가하였다(Japan 2015). 기후변화에 시나리오에 따른 대표적 생태계 영향 평가를 위해 아열대 지역

해안생태계를 대상으로 기후변화 시나리오에 따른 산호초(Reef-building coral) 서식지 감소를 평가하였다. 기후변화 적응대책에서는 자연생태계(Natural ecosystem) 부문 육상, 담수, 연안, 해양생태계로 분류하고 이를 다시 서식지와 종, 기후대로 상세화 하였다. 육상생태계는 서식지와 종, 연안은 기후대를 기본으로 세분화하였다(Table 4).

3) 기타 국가의 생태계 유형분류

호주에서는 '환경 및 지속가능성(Environment and Sustainability)' 관련 리스크를 자연습지의 물이용 가능성 감소 영향(저수지, 식생상태, 대수층, 해충), 초목(산림, 초지) 화재의 잠재성, 저지대 범람의 영향(해안, 식생, 염해, 부식, 오염물질)에 대해 서식지와

Table 4. Classification of natural ecosystem applying climate change adaptation strategy (Japan, 2015)

Group	Contents
Terrestrial ecosystem	Alpine / Subalpine zone
	Natural forest / Secondary forest
	Countryside-landscape-Satochi-Satoyama
	Artificial plantation
	Impact on Fauna-wild animals and birds
	Material balance
Freshwater ecosystem	Lakes/marshes
	Rivers
	Marshlands
Coastal ecosystem	Subtropics
	Temperate/subarctic
Marine ecosystem	-

Source: Climate Change Impact Assessment and National Adaptation Planning Process in Japan (2015), Ministry of the Environment, Government of Japan

종의 관점에서 관리하는 방안을 고려하고 있다 (Australia 2009). 그러나 기후변화 관련 중요성 및 시급성 이슈에 중점을 두었기 때문에 국가 내 모든 생태계를 대상으로 하지 않으며, 생태계 유형을 세분화하지 않았다. 독일은 기후변화 적응대책 수립을 위해 자국의 생태지역(Ecoregion) 분류에 따라 생물종 다양성 리스크를 비오톱과 서식지 연결, 종 보전 영향으로 정성 평가하였다(Germany 2008).

이외에도, 미국에서는 생태계 유형별 리스크 평가 및 적응대책을 고려하고 있지 않지만, 우리나라 및 일본등지와 유사한 형태의 국가토지피복 데이터베이스(National Land Cover Database, 이하 NLCD)를 보유하고 있다(<https://landcover.usgs.gov/uslandcover.php>). 미국지질조사국(U.S. Geological Survey, 이하 USGS) 주관으로 Landsat 4-5 TM

위성영상 및 항공사진을 활용하여 NLCD를 제작하였다. 대분류 9개 항목인 물(Water), 개발지역(Developed), 나지(Barren), 산림지대(Forested upland), 관목지(Shrubland), 비자연 수목(Non-natural woody), 고지대 초본(Herbaceous upland), 식재/경작 초본, (Herbaceous planted/cultivated), 습지(Wetland)를 토지이용 및 식생 유형에 따라 중분류 21개 항목으로 상세화 하고 있다.

2. 국내 생태계 유형분류

우리나라에서는 산림/생태계 부문에 대해 서식지와 종의 특성, 산림생태계의 재화와 서비스 공급이라는 측면에서 리스크 항목을 설정하고 전문가 평가를 실시하였다(Park et al. 2014). 산림/생태계 부문의 생태계 유형을 연안, 육수, 육상, 산림으로 분류하고

Table 5. Mountain/natural ecosystem sector for climate change risk assessment of KEI (Korea, 2014)

Ecosystem Classification	Contents	
	Habitat	Species
All	Special habitat such as alpine-sub-alpine region, river/steam, soil	Herbaceous plant, naturalized plants, indigenous Species, endemic species, dominant species, endangered species, etc
Coastal	Salt marsh, freshwater and coastal habitat	Special species
Water (Inland)	(Near flood plain) agriculture/cropland, urban	Animals and plants that are affected by flow
Terrestrial	Soil, forest, agriculture/cropland	Crop, trees, etc
Mountain	Mountain	Trees, damage by pests, etc

Table 6. Ecosystem classification for Ecosystem Services in involved countries

NIE(2015)	MAES(2013)	UK(2011)	MA(2005)
Urban/rural (6.1%)	Urban ecosystem	Urban	Urban
Agriculture (25.0%)	Cropland	Enclosed farmland	Cultivated
Grassland (2.2%)	Grassland	Semi-natural grasslands	Dryland
Mountain/Forest (62.3%)	Woodland and forest	Woodlands	Forest and Woodland
	Heathland and shrub		Mountain
	Sparsely of un-vegetated land		
Freshwater (Wetland) (2.9%)	Wetlands	Mountains, moorlands & heaths	Inland water
	Rivers & lakes		
Ocean-Open water (0.6%)	Marine inlets and transitional waters	Freshwaters-open waters, wetlands & flood plains	Marine fisheries
	Open ocean		
Costal (marsh) (0.4%)	Coastal	Marines	Coastal

Source: Methodological development of the ecosystem services assessment and valuation(2014), National Institute of Ecology

(Table 5), 대표 서식지와 생물종의 영향을 고려하여 12개 우선순위 리스크 항목을 설정하였다. 한편 NEA와 같이 우리나라 생태계서비스 평가를 위한 생태계 유형분류는 대/중분류 토지피복도의 분류 체계를 조정한 것이다(Table 6). 우리나라 토지피복은 산림 피복이 62%, 경작지 피복이 25%에 달하며, 동일한 피복이라도 식생 및 녹지 자연 특성에 따라 서식지 유형이 다르게 나타날 수 있다.

3. 국내외 생태계 유형분류 기준 비교 분석

유럽 여러 국가는 European Climate Adaptation Platform을 통해 EU 차원에서 적응에 대한 정보와 경험을 공유하고 있으며(Climate-ADAPT-Sharing adaptation information across Europe), 유럽 여러 국가에서는 정책수준에서 생태분야 리스크 관리 방법론을 확립하고 리스크 평가와 적응대책의 명확한 연결고리를 가진 모범 사례들이 다수 존재한다. 그 중에서도 영국은 취약성이 아닌 리스크 개념에 따라 생태계 유형별 리스크 평가와 적응대책에 대한 선도적 연구를 진행한 바 있다. 영국은 국가단위 생태계 리스크를 정량적으로 평가하는 대표적 국가이며, 생태분야에서는 동일한 생태계 유형 분류 기준을 적용하여 생물종다양성과 생태계서비스를 통합 평가하고 있다. 특히 영국은 유럽단위 토지피복분류와 유럽 서식지 정보를 연계하여 구축된 유럽생물종다양성정보시스

템으로부터 제공되는 공간정보 DB를 기초정보로 활용함으로써, 생물종 및 서식지 특성이 반영된 리스크 평가 및 적응대책을 수립하는 대표적 국가이다. 독일의 경우 취약성 개념에서 생태분야 리스크를 평가하고 있지만, 취약성 평가방법론을 확립하고 이에 따른 적응대책 및 실행계획 수립에 이르는 탄탄한 연결고리를 가지고 있다. 호주와 같이 광범위한 국토면적을 가진 국가에서는 기후변화에 따라 지역별 영향이 상이하므로 국가 단위의 리스크 관리체계에 대한 방향성을 설정하고 지방정부 차원의 취약성 평가 및 적응대책을 수립하고 있다.

이에 이상의 리스크 관리 선진사례에서 적용된 생태계 유형 분류 기준을 유형화하고, 각국의 생태계 유형분류 방법을 비교하였다. 생태계 유형분류 기준은 크게 (a) 토지피복분류, (b) 생태지역 분류, (c) 취약/핵심생태계 분류로 3가지로 나눌 수 있으며 관련 내용을 Table 7에 정리하였다. 유럽국가의 경우 유럽전체에 걸쳐 구축된 생물종다양성정보시스템에서 토지피복 내 생물종분포특성이 반영되어 있으므로, 토지피복분류를 생태계 유형으로 적용하기에 용이하며, 이러한 기준을 채택하고 있는 대표적 국가는 영국이다. 한편 지형·지리적 특성과 식생대에 대한 기후 영향이 반영된 생태지역 개념의 유형분류를 채택하고 있는 대표적인 국가는 독일이다. 마지막으로 기후변화에 따라 광범위한 면적 혹은 생물종이 영향을 받거나,

Table 7. Criteria of Ecosystem Classification applied for climate change risk assessment and adaptation strategy

	Land cover	Ecoregion		Vulnerable/ Core Ecosystem
		Climate area	Vegetation zone	
Definition	Zone classified with identical characteristics of land surface and shape of geographic features (Ministry of Environment in Korea, Environmental Geographic Information Service)	Zone with similar climatical responses with geology and geographic characteristics	Zone where vegetation distributed with temperature condition change by altitude or latitude	Ecosystem with influential impact (large amount of area, effect on species), scarce to be destroyed, or high priority of conservation and importance(domestically and internationally) resulted by climate change
Legend example	UK (urban, cropland, grassland, woodland and forest, heathland and shrub, sparsely vegetated land, wetlands, rivers and lakes, marine inlets and transitional waters, coastal, shelf, open ocean)	Germany (warm climate, cooler climate, mountain foothills climate, drier climate, low mountain climate, mountain climate)	Korea (subalpine coniferous forest, cool-temperate mixed forest, cool-temperate deciduous forest, temperate mixed forest, temperate deciduous forest, warm-temperate mixed forest, warm-temperate evergreen forest, subtropical evergreen forest)	Korea (national protected area, national park, subalpine forest, coastal area, fresh water wetlands, etc), Australia (coastal area, Great Barrier Reef, etc)
Characteristics	Classifying whole national area by physical characteristics of land cover and possibly obscure for the relations with biology and climate factors. On hierarchy, having scientific evidence for establishing environmental policy of federal or local government and utilized as research basis for related academic field	Classifying whole national area but only considering climate area affected by altitude regardless of physical condition of land cover or ecosystem types	Not considering other ecosystem types except vegetation	Ecosystem types with social issues or interest where social force including conservation strategies such as law, policy, and planning will affects (not whole national area)
Applied cases	UK climate change risk assessment for the biodiversity and ecosystem services sector (UK, 2012)	Germany's vulnerability to climate change (Germany, 2015)	Vulnerability assessment of Korea forest vegetation (Lee et al. 2011; Byeon et al. 2012)	Vulnerability assessment for Australia's southern metropolitan region (Australian Government Report 2009), Vulnerability assessment of Korea national parks (Kim and Kim 2016)

회소하여 손실되기 쉬운 생태계, 국내외적으로 중요한 위상을 가지고 보전가치가 높은 생태계인 취약/핵심 생태계에 대한 기준을 적용하는 대표적 국가는 호주이다. 우리나라의 경우 산림생태계에 대한 취약성 중심의 평가가 이루어져 왔으므로 (b) 생태지역 분류 혹은 (c) 취약/핵심생태계 분류가 적용되어 왔다고 할 수 있다. 토지피복분류를 적용하는 경우 국가 단

위 생태계 유형분류 및 리스크 평가에 활용하기에 용이하다는 장점이 있지만 지역 스케일의 취약성/리스크 평가가 과소평가될 수 있다는 단점이 있다. 또한 생태지역 기준을 적용하는 경우 기후대별 식물 분포 특성이 반영되어 식생대 혹은 식물군락 단위의 영향을 평가하기에 용이하지만, 동물 분류군에 대한 정보가 부족할 수 있고, 식생 이외의 생태계 유형분류가

누락된다는 단점이 있다. 또한 취약/핵심 생태계 기준을 적용하는 경우, 시급하게 리스크가 인식되는 지역의 관심 집중 및 관리는 용이하지만 국가 전체의 리스크 평가가 어렵고 이슈화되는 것만 평가가 가능하다는 단점이 있다.

우리나라의 경우 유럽생물종다양성정보시스템과 같이 토지피복과 생물종 및 서식지 특성을 반영할 수 있는 공신력 있는 공간정보 및 시스템이 아직 구축되기 이전이고, 생태부문 리스크 관리 체계 역시 초기 단계이므로 유럽 여러 선진국과 같은 정도의 생태계 유형분류가 미진한 실정이다. 그러나 이상의 선례로부터 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있었다. 호주와 같이 광범위한 면적을 가진 국가가 아닌 우리나라의 경우 국가스케일에서 생태분야 리스크 관리에 부합하는 분류 기준은 영국의 사례와 같이 토지피복분류 기준에 가깝다. 국가 단위 생태계 리스크 평가 대응대책 수립 이후, 지역단위 리스크 관리가 필요한 경우 생태지역 혹은 취약/핵심 생태계에 대한 상세 리스크 평가를 수행하는 것이 바람직할 것이다. 한편 생태분야 리스크 평가의 경우, 생물종 서식 특성이 반영된 생태계 유형 공간정보DB가 바탕이 되어야 공간의 생물종다양성 리스크 평가가 가능하다. 유럽의 토지피복 분류기준에서 서술한 바와 같이 생물종 정보를 토지피복도에서 담고 있지만, 우리나라 토지피복도의 경우 생물종 정보 혹은 생물종 서식특성을 담도록 제작되지 않았기 때문에 이를 그대로 적용하기에는 한계가 있다. 이에, 5장에서 국가 토지피복분류와 자연환경조사 자료를 활용하여 리스크 관리체계에 생태계 유형을 적용에 대한 제언 및 발전 방향을 제시하였다.

V. 국내 토지피복분류별 생물종 분포 특성을 통한 적용성 검토

1. 토지피복분류도와 생물종 조사정보 중첩분석

우리나라에서는 현재 다양한 생태공간정보가 존재하지만, 국가단위에서 토지의 물리적 피복상태를 반영한 포괄적인 생태계 유형 정보는 토지피복 분류도

라고 할 수 있다(국토환경정보센터, <http://www.neins.go.kr>). 대분류 토지피복지도는 공간해상도 30m의 위성영상자료를 활용하여 7항목의 분류체제로 제작되었으며 항공사진을 활용하여 중분류 22항목으로 상세화 되었다. 대분류 토지피복도는 자연사체로서의 지표의 물리적 상태를 반영하지만, 중분류로 세분화할 때 종과 서식지 특성보다는 인간의 토지이용 특성이 반영되었다는 점에서 유럽의 토지피복분류와는 차이가 있다고 할 수 있다. 한편 우리나라 생물종 공간 정보를 담고 있는 제 3차 전국자연환경조사는 전국 단위와 전체 분류군을 아우르는 종합적 생물 서식특성 조사자료이다. 제 3차 전국자연환경조사는 전국을 북부, 중부, 남부로 나누어 실시한, 지형, 식생, 식물상, 저서성대형무척추동물, 육상곤충, 어류, 양서·파충류, 조류, 포유류 등 9개 분야의 조사 결과로, 생태자연도 갱신 및 자연환경종합 GIS-DB 구축에 활용된다(국가생물다양성 정보공유체계 <http://www.cbd-chm.go.kr>).

이에 본 절에서는 제3차 전국자연환경조사 DB를 생물종 정보로 활용하여, 대분류 및 중분류 토지피복도별 서식특성을 살펴보고 토지피복분류가 서식특성을 반영한 생태계 유형으로 활용될 수 있는지 검토하였다. 먼저 ArcGIS를 활용하여 2009년 제작된 대분류 및 중분류 토지피복도와 제 3차 자연환경조사자료(2006~2013년) DB를 중첩분석 하였다. 활용한 동식물 공간정보는 담수 및 육상 동식물 DB로 담수 어류, 저서무척추, 양서파충류, 육상곤충, 조류, 포유류 6개 분류군 포인트 데이터이다. 본 생물종 조사 포인트에서 반경 100m 내에 있는 지역에 대해 폴리곤을 생성하고, 이를 토지피복분류와 중첩하여 분류군별 서식/이용 토지피복 면적을 계산하였다. 또한 분류군 내에서 생물종이 서식하거나 이용을 선호한다고 볼 수 있는 토지피복 비율을 계산하여 조사된 분류군별 서식/이용 특성이 토지피복분류별로 차이가 있는지 검토하였다.

2. 생물종의 토지피복 분포특성 분석

본 절에서는 생물종 분류군별 대분류 및 중분류 토

Table 8. Land cover Area (Level 1) for surveyed Taxonomic Groups

Land cover Area of surveyed (km ²)	Mammal	Bird	Benthic Invertebrate	Terrestrial insect	Amphibians and reptiles	Freshwater Fish
Build up	52	46	22	9	41	23
Agriculture	359	272	80	43	290	84
Mountain	1,043	370	34	105	221	26
Grass	35	22	4	5	15	5
Wetland	14	32	9	1	7	13
Barren	21	20	7	3	10	9
Water	35	73	19	3	26	25
Total	1,559	835	176	170	610	185

지피복 서식 현황을 정리하여 토지피복 유형과 생태계 유형 분류의 연관성을 검토하였다. 먼저, 대분류 토지피복별 분류군 서식면적에 대한 경향성을 살펴 보기 위해 토지피복별로 6개 분류군의 서식/이용면적을 정리한 결과는 Table 8 및 Figure 3과 같다. 모든 분류군은 산림피복 및 농업피복에 집중적으로 서식하고 있음을 확인할 수 있다. 수역의 경우 양서파충류 및 담수어류 이외에도 물가 서식지를 선호하는 조류종의 서식/이용이 확인되었으며, 인간의 영향이 지배적인 시가화 피복에서도 포유류, 조류, 양서파충류의 서식지 이용이 있음을 직관적으로 확인할 수 있었다.

한편, 우리나라 토지피복 현황은 국토 대비 도시/농촌지역이 6.1%, 경작지 25.0%, 초지 2.2%, 산림 62.3%, 담수습지 2.9%, 해양 0.6%, 연안갯벌 0.4%로 구성되어 있다(Table 5). 이에 국토 내 절대면적이 큰 산림 및 농업피복에 대해 분류군 서식면적도 비례하여 클 수밖에 없다. 우리나라 토지피복이 산림 및 농업피복에 90% 가까이 집중되어 있으며 분류군별 선호 토지피복 역시 여기에 편중되어 있다는 사실은 해당 피복 유형을 분류군별 서식지 특성을 반영하여 더 상세화 할 필요가 있음을 의미한다. 이에, 중분류 토지피복이 대분류 중 어떤 생태계 유형을 상세화할 수 있는지 검토하기 위해 중분류 토지피복에 대해

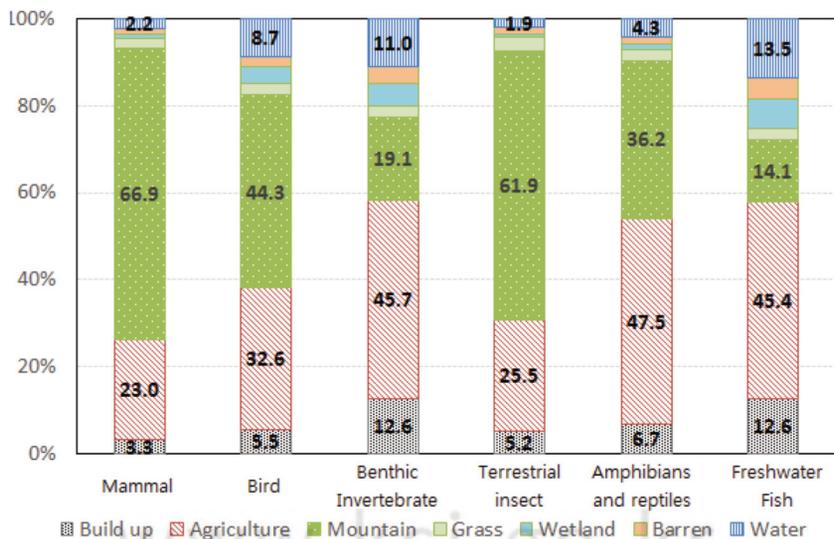


Figure 3. Proportion of Land cover Area (Level 1) in Taxonomic Groups

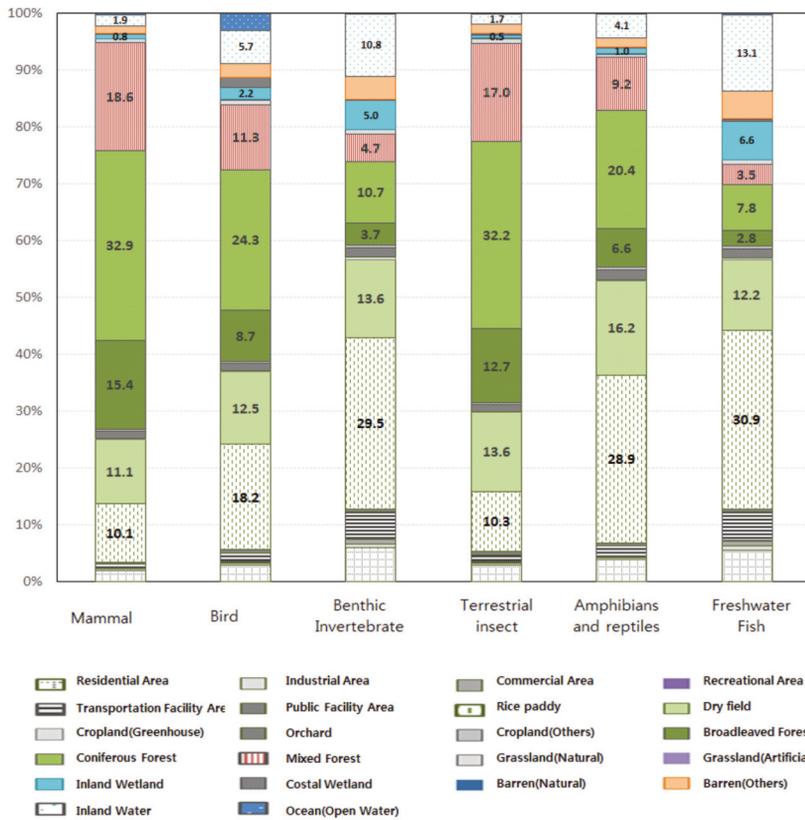


Figure 4. Proportion of Land cover Area (Level 2) in Taxonomic Groups

6개 분류군별 서식/이용면적 비율을 계산한 결과는 Figure 4와 같다. 대분류 토지피복의 경우 전체 분류군을 통틀어 산림, 농경지 서식/이용 경향성이 유사했지만, 중분류 토지피복을 적용한 경우 전체 분류군을 통틀어 논, 침엽수림에 대한 서식/이용의 경향성과 함께 분류군별로 내륙습지, 해양/해안수 서식 등과 같은 변동이 나타난다. 또한 농업피복이라 하더라도, 논과 밭 피복에서의 서식비율이 과수원, 시설재배지, 기타재배지보다 월등히 높게 나타났다. 또한 초지가 차지하는 피복면적에 비해 분류군별로 낮은 서식 경향을 확인할 수 있었다. 주거지역 및 교통지역에서 분류군의 서식지 이용비율이 높게 나타난 것은, 주로 농촌형 주거지나 도로 등지에서 사체로 발견된 포유류, 양서파충류, 저서무척추 분류군의 조사수가 기여한 것으로 생각된다.

토지피복중분류에 따른 분류군별 서식면적 비율을

정리한 결과는 Figure 5와 같다. 시가화 지역에 해당하는 주거, 공업, 상업, 문화체육휴양지역, 교통지역, 공공시설지역을 통틀어 포유류>조류>양서파충류 순으로 토지피복을 점유하는 경향이 나타났으며, 이 세 분류군의 시가화면적 점유율은 64~80%에 달하는 것으로 나타났다. 농경지 서식지의 경우 시가화 지역의 경우와 마찬가지로 포유류, 조류, 양서파충류의 점유면적이 대부분을 차지하지만 각 분류군의 서식비율의 차이가 발견되었다. 논, 밭의 경우 양서파충류가 30%에 달하는 가운데 포유류, 조류가 약 25%로 유사한 값을 나타내고 있다. 반면, 밭에서는 포유류의 비율이 40%에 달하는 가운데 조류, 양서파충류의 비율이 20% 전후로 유사하게 나타났다. 과수원의 경우 포유류의 비율이 43%에 달하는 가운데, 조류 및 양서파충류의 비율이 20% 전후인 것으로 나타나, 논, 밭, 과수원별로 분류군별 구성비의 특성이 상이

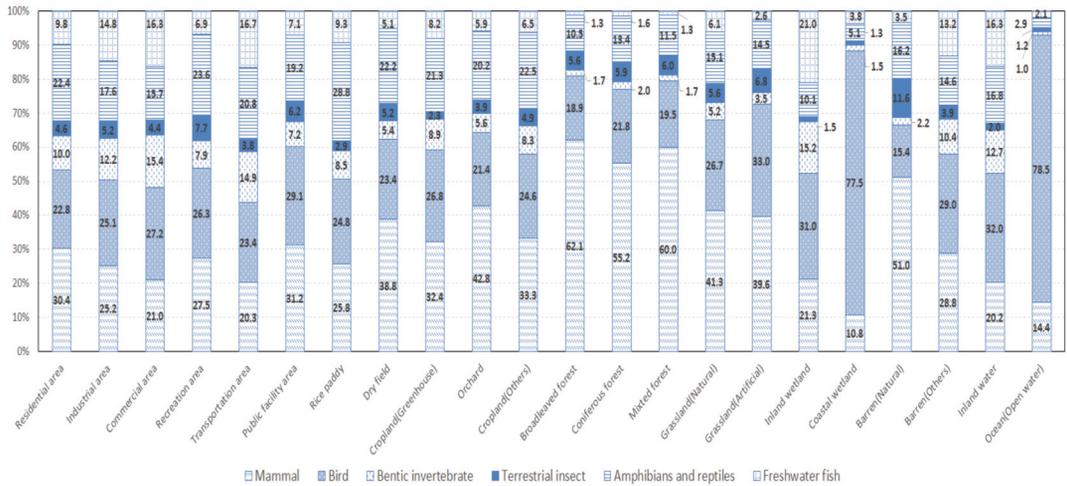


Figure 5. Proportion of Taxonomic Groups in Land cover Area (Level 2)

하며, 리스크 관리체계 내 서식분류군별 군집구조 특성에 대한 고려가 필요함이 나타났다. 한편 우리나라 산림생태계의 경우 포유류의 비율이 60%에 달하는 가운데, 임상별로 포유류, 조류, 양서파충류의 구성비가 상이한 것으로 나타났다. 이는 기후변화에 대한 산림생태계 리스크 관리에 있어 해당 분류군별의 먹이사슬의 관계와 구성비를 고려해야 함을 시사한다. 자연초지에서는 농업생태계와 유사하게 포유류의 비율이 약 40%로 최대인 가운데 인공초지에서는 조류의 비율이 가장 높은 것으로 나타났다.

육상곤충의 경우 모든 피복에서 전체 분류군별 대비 상대적으로 낮은 비율을 점유하지만 주목할 점은 자연나지에서 12%에 상대적으로 높은 비율을 기록하고 있으며, 시가지지역 내 문화체육휴양지역에서 8%에 달하여 타 피복 내 분류군 조성비율 대비 높은 비율을 기록하고 있다는 것이다. 즉, 향후 기후변화가 육상곤충에 미치는 영향과 대응방안 마련에 있어 자연나지 및 문화체육휴양시설의 리스크 평가 및 적응대책 역시 중요할 것이다. 담수어류의 경우 내륙습지에서 21%, 내륙수에서 16%, 기타 나지 등에서 13%에 달하는 것으로 나타났다. 이는 기후변화에 따라 건조에 대한 취약성이 큰 내륙습지의 담수어류에 대한 리스크 평가 및 적응대책 마련이 반드시 고려되어야 함을 의미한다. 조류의 경우 전 피복 공통으로

20%~80%의 높은 비율을 점유하는 종이지만, 특히 할 점은 해안습지 및 해안수역에서는 80%에 달하는 최빈 분포종이라는 것이다. 특히 해안습지의 경우 조류의 분포와 함께 이들의 먹이원인 양서파충류와 담수어류, 저서무척추동물의 비율이 10%를 상회하는데, 이를 통해, 담수어류의 경우에서와 마찬가지로 기후변화에 따른 기온상승, 건조, 범람 이벤트와 관련하여 양서파충류, 담수어류, 저서무척추동물의 비율이 감소할 때 먹이사슬의 관점에서 해당 피복의 분류군 서식비율에 변화가 나타날 것으로 생각되어, 향후 관련 리스크 관리가 필요함을 알 수 있었다. 또한 저서무척추 동물의 경우 담수어류, 양서파충류의 비율이 높은 내륙 습지, 기타 나지, 내륙수 비율이 높은 곳을 중심으로 10~15%의 비율을 점하는 것으로 나타나, 해당 분류군도 건조와 범람 등 물 이슈와 관련한 비율 증감과 함께, 해당 피복 내 먹이사슬의 관계에 대한 리스크 관리가 필요함을 시사하였다.

3. 토지피복 분류 적용성

기후변화에 따른 생태계 부문 리스크 평가 체계에서 국토 전반을 점유하는 주요 생태계 뿐 아니라, 국토대비 면적은 적지만 다양한 분류군이 서식하는 생태계, 특수 분류군이 서식하는 생태계, 반자연/인공 생태계 등에 대해 리스크를 평가하고 생태계 특수성

을 고려한 적응대책을 수립할 수 있어야 한다. 즉, 우리나라 국토 전반을 점유하는 산림 생태계 및 농업생태계, 국토대비 면적은 적지만 다양한 분류군이 서식하는 습지생태계, 특수 분류군이 서식하는 해안생태계, 반자연 혹은 인공적인 특수생태계인 도시생태계에 대한 분류가 리스크 평가체계에 반영될 수 있어야 할 것이다. 또한 각 종별 서식특성을 반영한 적응대책을 마련할 수 있어야 할 것이다. 즉 시가화 서식지 내에서는 문화체육휴양지역에서 8% 가량으로 전 피복 대비 상대적으로 높은 비율을 점유하는 육상곤충을, 농경지 서식지의 경우 논, 밭, 과수원별로 포유류, 조류, 양서파충류의 군집구조와 먹이사슬을, 산림 서식지 내에서는 임상별로 포유류, 조류, 양서파충류의 군집구조와 먹이사슬에 대한 리스크 관리가 필요하다. 또한 기후변화에 따라 건조에 특히 취약한 내륙습지 담수어류에 대한 리스크 평가 및 적응대책과 함께, 기온상승, 건조, 범람 이벤트와 맞물려 나타나는 해안습지 조류의 분포 및 이들의 먹이원인 양서파충류, 담수어류, 저서무척추동물의 먹이사슬의 변화가 고려되어야 할 것이다. 또한 내륙습지, 기타 나지, 내륙수를 중심으로 물 이슈와 관련된 저서무척추 동물 역시 군집조성 및 먹이사슬에 대한 리스크 관리가 이루어져야 할 것이다.

기후변화 리스크 평가 및 적응대책 수립에서 생태계 유형 적용 시, 현재 국내 대부분 토지피복에서는 분류군별 서식 특성을 거의 알 수 없기에 대부분 체계를 그대로 적용하기에는 무리가 있을 것으로 생각된다. 이에 산림, 농경지분류에 있어 중분류 체계와 같은 세분화가 필요하며, 국토 대비 면적에 비해 분류군의 서식지 선호비율이 높은 내륙습지, 해양/해안 서식지, 도시와 자연생태계의 전이지역 등에 대한 반영 및 조정이 필요할 것으로 생각된다.

VI. 결론

생태분야 기후변화 리스크 평가는 국가의 핵심/주요 생태계 뿐만 아니라 국가 생태계 전체를 유형화하여 서식지와 종의 리스크를 평가할 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 생태분야 기후변화 리스크 관리

체계에 활용하기 위해 토지피복분류 기준에 따른 생태계 유형분류의 적용성을 검토하였다. 본 연구에서 진행한 적용성 검토의 범위는 국내 토지피복분류와 제 3차 자연환경조사 자료의 중첩분석을 바탕으로 분류군별 토지피복 이용/선호 경향성을 확인하고 리스크 관리에 대한 시사점을 제시하는 것이다. 그러나 실질적으로 리스크 관리체계에 활용될 수 있는 생태계 유형분류는 유럽국가의 사례와 같이 국가 혹은 그 이상의 단위에서 토지피복과 생물종 및 서식지 특성을 반영할 수 있는 공신력 있는 공간정보DB 구축 및 시스템화가 전제가 되어야 한다. 즉 본 연구를 심화 시킴에 있어 전국자연환경조사 자료만으로 토지피복별 생물종의 서식특성을 일반화하기에는 여러 오차가 존재한다는 점 등 리스크 관리체계에 직접적으로 활용할 수 있는 생태계 유형분류를 진행하기에는 한계가 있었다. 이에 본 연구의 한계 및 추후 개선점은 생태계 내 서식지 및 종의 특성을 설명할 수 있는 토지피복지도와 제3차 자연환경조사와 같은 공간정보 구축 및 활용이라 할 것이다. 추후, 토지피복의 주기적인 갱신과 함께 국내에서 진행되고 있는 자연환경조사 등 국가와 지역을 아우르는 다양한 스케일의 생물조사 결과와 통합 및 연계분석하여 토지피복 유형을 상세화 하는 작업이 필요할 것이다. 국가의 생물종다양성 평가를 위해 국내에 구축되어 있는 국가단위 생물종 조사자료는 전국자연환경조사 DB가 대표적인데 본 연구에서는 토지피복별 종의 서식특성을 확인하기 위해 전국자연환경조사 자료를 활용하였으나, 종의 조사지점이 서식지 특성을 정확히 반영하지는 않는다는 점에서 보다 정밀한 조사자료를 통한 분석 및 보완이 필요할 것으로 생각된다. 한편 분류군간 및 분류군 내 생물종의 이동능력을 활용한 서식지 분포특성이나, 특수종과 일반종에 대한 선호 서식지 분석도 진행되어야 할 것이다. 이러한 연구결과를 바탕으로 최종적으로는, 생태계 유형분류 결과를 바탕으로 분류군별 리스크 평가종 선정 후 리스크 항목별 평가방법론을 적용하여 정량화된 결과로 도출해야 할 것이다.

사 사

이 논문은 국립생태원 기초연구과제(기후변화에 따른 생태계 변화연구)로 수행되었음.

References

- Alderman R, Hobday AJ. 2017. Developing a climate adaptation strategy for vulnerable seabirds based on prioritisation of intervention options. *Deep-Sea Research II*. 140:290-297.
- Assessment Report 5-Working Group 2. 2014. Phase 1 Report Launch.
- Biodiversity Information System for Europe, <http://biodiversity.europa.eu/maes/typology-of-ecosystems>
- Byun J, Lee WK, Choi S, Oh S, Yoo S, Kwon T, Sung J, Woo J. 2012. Vulnerability Assessment for Forest Ecosystem to Climate Change Based on Spatio-temporal Information. *Korean Journal of Remote Sensing*. 28(1):159-169. [Korean Literature]
- Cabral P, Levrel H, Schoenn J, Thiebaut E, Le Mao P, Mongruel R, Rollet C, Dedieu K, Carrier S, Morisseau F, Daures F. 2015. Marine habitats ecosystem service potential: A vulnerability approach in the Normand-Breton (Saint Malo) Gulf, France. *Ecosystem Services*. 16: 306-318.
- Chen Q, Liu J, Ho KC, Yang Z. 2012. Development of a relative risk model for evaluating ecological risk of water environment in the Haihe River Basin estuary area. *Science of The Total Environment*. 420: 79-89.
- Climate-Adapt-Sharing adaptation information across Europe, European Climate Adaptation Platform. <http://climate-adapt.eea.europa.eu>
- Committee on Climate Change. 2017. UK Climate Change Risk Assessment Evidence Report: UK Government Report.
- Commonwealth of Australia. 2009. Climate Change Risks to Australia's Coast-A first pass national assessment: Government Report.
- Defra (Willows R and Connell R). 2003. Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making. UKCIP Technical Report.
- Defra. 2012. Climate Change Risk Assessment for the Biodiversity and Ecosystem Services Sector, UK.
- Defra. 2017. UK Climate Change Risk Assessment: Evidence Report.
- Department of the Environment and Heritage. 2006. Climate Change Impacts & Risk Management A Guide for Business and Government, Australia.
- German Federal Environment Agency. 2015. Germany's vulnerability to Climate Change.
- HMGovernment. 2013. The National Adaptation Programme: UK Government Report.
- Jang DH, Kim JS. 2009. Vulnerability Assessment under the Sea Level Rise Based on Climate Change in Chungnam Coastal Area. *Journal of the Korean Geomorphological association*. 16(2): 1-13. [Korean Literature]
- Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <http://www.jamstec.go.jp/sousei/eng/>.
- Mawdsley JR, O'Malley R, Ojima DS. 2009. A Review of Climate-Change Adaptation Strategies for Wildlife Management and Biodiversity Conservation. *Conservation Biology*. 23(5): 1080-1089.
- Kim CC, Kim TG. 2016. Evaluation on Climate Change Vulnerability of Korea National Parks. *The Korean Society of Limnology*. 49(1): 42-50. [Korean Literature]
- Kim ES, Yoon KY, and Lee SH. 2014. Lake Vulnerability Assessment. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation*

- Society. 15(11): 6877-6883. [Korean Literature]
- Kim YK, Lee WK, Kim YH, Oh , Heo JH. 2012. Changes in Potential Distribution of *Pinus rigida* Caused by Climate Change. Journal of Korean Forest Society. 101(3): 509-516. [Korean Literature]
- Kim JW, Lee DK. 2006. A Study on the Vulnerability Assessment of Forest Vegetation using Regional Climate Model. The Korea Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology. 9(5): 32-40. [Korean Literature]
- Kong WS, Lee S, Park H, Yu JA. 2012. Ecosystem Vulnerability Assessment of Local Government Due to Climate Change. The Korean Society of Climate Change Research. 3(1): 51-69. [Korean Literature]
- Korea Environment Institute (Yoo and Kim). 2008. Development of Vulnerability Assessment Index and Introduction Plan. [Korean Literature]
- Korea Environment Institute (Chae et al). 2013a. Analysis on Risk Factors and Management Plan for Minimizing National Risks in Sector. [Korean Literature]
- Korea Environment Institute (Lee et al). 2013b. A Study on Response Plan to Climate Change Risk in Korea for Coping with Global Adaptation Strategies. [Korean Literature]
- Korea Environment Institute (Park et al). 2014. Prospect for Climate Environment Risk and National Strategy (I). [Korean Literature]
- Korea Environment Institute (Cho et al). 2014. Study on Quantifying Risk of the Effects of Climate Change 1. [Korean Literature]
- Korea Environment Institute(Park et al). 2014. A Study on the Second National Adaptation Strategy to Climate Change. [Korean Literature]
- Korea Environment Institute (Chae et al). 2016. Developing Climate Change Combat Capability Assessment Framework. [Korean Literature]
- Korean National Park Service. Korean National Park Research Institute. 2013. Establishment of Monitoring System of Ecosystem Impact from Climate Change. [Korean Literature]
- Lee DK, Kim JW. 2007. Vulnerability Assessment of Sub-Alpine Vegetations by Climate Change in Korea. The Korea Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology. 10(6):100-119. [Korean Literature]
- Lee S, Choi S, Lee WK, Park T, Oh S, Kim SN. 2011. Vulnerability Assessment of Forest Distribution by the Climate Change Scenarios. Journal of Korean Forest Society. 100(2): 256-265. [Korean Literature]
- Ministry for the Environment. 2008. Climate change effects and impacts assessment: A Guidance Manual for Local Government in New Zealand-2nd Edition. New Zealand.
- Ministry of the Environment. 2015. Climate Change Impact Assessment and National Adaptation Planning Process in Japan. Government of Japan.
- Ministry of Environment in Korea. 2011. Study on Vulnerability Due to Climate Change for supporting Pilot Development of Specific Adaptation Action Plan in Lower Level Local Government. [Korean Literature]
- National Biodiversity Center in Korea, <http://www.cbd-chm.go.kr>
- National Environment Information Network System of Korea Environment Institute, <http://www.neins.go.kr>
- National Institute of Ecology. 2014. Methodological Development of the Ecosystem Services Assessment and Valuation. [Korean Literature]
- Okey TA, Agbayani S, Alidina HM. 2015. Mapping ecological vulnerability to recent climate

- change in Canada's Pacific marine ecosystems. *Ocean & Coastal Management*. 106: 35-48.
- Rural Development Administration. 2009. Report of Research and Development in 2009(Study on Agricultural Research). National Institute of Agricultural Sciences. 811-823. [Korean Literature]
- Samhouri JF, Levin PS. 2012. Linking land- and sea-based activities to risk in coastal ecosystems. *Biological Conservation*. 145(1): 118-129.
- Sample JE, Baber I, Badger R. 2016. A spatially distributed risk screening tool to assess climate and land use change impacts on water-related ecosystem services. *Environmental Modelling & Software*. 83: 12-26.
- Stelzenmuller V, Ellis JR, Rogers SI. 2010. Towards a spatially explicit risk assessment for marine management: Assessing the vulnerability of fish to aggregate extraction. *Biological Conservation*. 143(1): 230-238.
- Southern Metropolitan Regional Council. 2009. Climate Change Climate Change Risk Management and Adaptation Action plan for the Southern Metropolitan Councils: Australian Government Report.
- Summit Enterprises International Inc. 2014. Canadian Climate Change Risk Assessment Guide: A Strategic Overview of Climate Risks and Their Impact on Organizations, Canada.
- The Federal Government. 2008. German Strategy for Adaptation to Climate Change, German Government.
- The Korean Society of Climate Change Research. 2012. Advanced Vulnerability Assessment for Each Sector of Local Government. [Korean Literature]
- US Land Cover - The USGS Land Cover Institute, <https://landcover.usgs.gov/uslandcover.php>
- Webster MS, Colton MA, Darling ES, Armstrong J, Pinsky ML, Knowlton N, Schindler DE. 2017. Who Should Pick the Winners of Climate Change?. *Cellpress Trends in Ecology & Evolution*. 32(3): 167-173.
- Xu Y, Shen ZH, Ying LX, Ciais P, Liu HY, Piao SL, Wen C, Jiang YX. 2016. The exposure, sensitivity and vulnerability of natural vegetation in China to climate thermal variability (1901-2013): An indicator-based approach, *Ecological Indicators*. 63: 258-272.