

Research Paper

생태분야 기후변화 적응의 흐름과 발전방향

– 국내외 정책 및 연구기반을 중심으로 –

여인애 · 홍승범 · 박은진

국립생태원 융합연구실

A Study on Development of Climate Change Adaptation in Ecosystem Sector

– Focused on Policy and Research Base in Major Countries –

Inae Yeo · Seungbum Hong · Eunjin Park

National Institute of Ecology

요약: 본 연구에서는 국가 생태분야 기후변화 리스크 평가와 연계한 적응 정책 및 연구의 방향성에 대한 시사점을 마련하고자 하였다. 본 논문에서 검토한 적응 정책과 연구에 대한 해외 모범사례의 공통점은 국가 적응정책 수립 시 과학적 근거기반 구축 및 불확실성 저감을 목표로 국가단위에서 기후변화가 생물다양성과 생태계에 미치는 영향 연구를 강조한다는 점이다. 이에 비추어 추후 국가 정책 마련 시 기후변화 협약과 생물다양성 협약 등 효율적 통합적 준수를 위한 적응체계를 유도하고, 적응의 경제적 가치평가를 통한 정책 반영, 과학적 연구 프로그램 강화 및 기술 개발의 측면을 보강하여 보다 성공적인 국가적응 정책 구조를 정착해 갈 수 있어야 할 것이다. 특히 생태계 분야 적응방안이 보다 실효성 있게 실행되기 위해서는 우리나라 서식지 및 종의 기후변화 리스크 요소(위해, 노출, 취약성)에 대한 과학적 진단과 분석을 바탕으로 리스크를 평가하고 이에 대한 적응방안을 통합하여 고민하는 노력이 필요할 것이다.

주요어: 기후변화, 적응대책, 생태계, 서식지, 생물다양성, 근거기반

Abstract: This study aims at deriving the implications for adaptation policy and research target regarding climate change risk assessment in ecosystem sector in Korea. The common ground of exemplary cases of “world leaders” in terms of adaptation policies and researches was that they emphasize nationwide study on climate change on biodiversity and ecosystem in target of establishing scientific evidence-bases and reducing uncertainty for their national adaptation policies and plans. In light of this trend, Korean government should settle down more successful adaptation structure by

First Author: Inae Yeo, Division of Convergence Research, National Institute of Ecology, Choongnam, Seochon-gun, 33657, Korea, Tel: +82-41-950-5802, Fax: +82-41-950-6152, E-mail: iayeo@nie.re.kr, ORCID :0000-0003-4497-0327

Corresponding Author: Eunjin Park, Division of Convergence Research, National Institute of Ecology, Choongnam, Seochon-gun, 33657, Korea, Tel: +82-41-950-5381, Fax: +82-41-950-6152, E-mail: parkej@nie.re.kr, ORCID :0000-0002-9152-7830

Co-Author: Seungbum Hong, Division of Convergence Research, National Institute of Ecology, Choongnam, Seochon-gun, 33657, Korea, Tel: +82-41-950-5804, Fax: +82-41-950-6152, E-mail: sbhong@nie.re.kr, ORCID :0000-0002-1163-7045

Received: 12 August, 2018. Revised: 4 October, 2018. Accepted: 22 January, 2019.

leading adaptation system in further national policy-settings to observe UNFCCC and CBD integratedly and effectively, considering the economic value of adaptation in policy, and strengthening scientific research programs and technology developments. Moreover, risks assessment based on diagnoses and analysis on the risk factors (hazard, exposure, and vulnerability) for climate change in nationwide habitats and species and consolidations with subsequent adaptation strategies could make adaptations in ecosystem sector more effective and successful.

Keywords : Climate change, National adaptation strategy, Ecosystem, Habitat, Biodiversity, Evidence base

I. 서론

유럽 등 국가에서는 기후변화협약의 틀 안에서 UN 지속가능 개발, 생물종다양성 전략과 유기적으로 연계하여 생태부문 적응정책을 정착시켜오는 가운데, 우리나라 역시 기후변화 대응의 세계적 흐름에 발맞추어 관련 대책을 수립하고 있다. 그러나 우리나라의 경우 아직 충분한 적응경험이 축적되기 이전이라 할 수 있으므로, 다양한 해외 모범사례의 시사점을 통해 합리적인 정책의 틀을 고려하고 국내 실정에 맞는 정책 구조를 정착해 가는 것이 필요한 상황이다. 우리나라의 경우 생태계 구성요소(생물종 보전 및 관리, 서식처 관리)와 기후적 위협요소에 대한 적응정책을 지향하고 있지만 기후변화 예측기술 뿐 아니라 생태계 영향에 대한 과학적 연구기반의 보완이 필요한 실정이다. 국가 정책 마련 시 기후변화협약과 생물다양성 협약 등의 효율적이고 통합적 준수를 고려한 적응체계를 유도하고, 적응의 가치평가를 통한 정책의 환류, 과학적 연구 프로그램 강화 및 기술 개발의 측면을 보강함으로써 국가 적응정책 구조를 정착해가는 것이 기후변화 적응의 성패를 가름하는 중요한 전제조건이기 때문이다. 이에 본 연구에서는 생태분야 적응방안에 대해 정책 및 연구적 측면에서 해외 선진 사례를 살펴보고 우리나라의 정책 및 연구에 시사하는 바와 발전방향에 대해 모색하고자 하였다. 이를 위해 국외 정책 및 연구 현황을 조사하여 국내 현황을 진단하고, 향후 발전방안을 도출하고자 하였다. 먼저, 기후변화협약 등 관련 국제협약과 국내외 생태부문 적응 정책 현황을 조사하여 생태분야 적응의 범위와 사례를 분

석하였다. 기후변화협약 및 생태분야관련 국제협약인 UN지속가능발전전략, 생물다양성협약을 살펴보고 국내 이행전략 및 관련 계획을 조사하여 이를 국내 기후변화협약 관련정책 및 생태분야 국가 전략과 비교하였다. 또한 국제적으로 선도적 위치에 있는 생태부문 적응 현황으로 영국의 기후변화리스크평가(Climate Change Risk Assessment: CCRA) 및 국가적응프로그램(National Adaptation Programme: NAP) 등, 독일, 호주, 미국, 일본의 적응 관련 정책과 연구사례를 수집 분석하여 각 국가별 생태분야 적응정책의 범위와 특징을 살펴보고 우리나라 생태분야 적응정책과 연구에 범위에 대한 시사점을 도출하였다.

II. 기후변화 적응의 개념과 이슈

1. 기후변화 적응 개요

기후변화 적응에 대한 논의는 “기후변화에 관한 유엔 기본 협약(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC 1992)”에서 대기 중 온실가스 농도 안정화를 목적으로 당사국들로 하여금 기후변화 완화 조치와 기후변화 영향에 대한 적응 준비 조치를 요구한 것으로부터 시작되었다. 이어 “기후변화에 관한 국제연합 기본협약에 대한 교토의정서(Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change 1997)” 10조에서는 UNFCCC 의무조항 4조를 보다 구체화하여 “기후변화 완화 및 적응 조치에 대한 프로그램 시행”과 “국가보고서를 통한 공표”의무를 명시하였다. 적응의 내용과 실행은 UNFCCC

당사국 총회(Conference of the Parties, COP)를 통해 구체화되어 왔다. 2001년 COP7에서 채택된 마라케시 합의문은 세계최저개발국(Least Developed Countries: LDCs)에 대한 기후변화 적응을 포함하여 국가 적응 행동 프로그램(National Adaptation Programmes of Action: NAPAs)을 수립하였다. 2006년 COP12에서 채택된 나이로비 작업프로그램(Nairobi Work Programme: NWP)에서는 당사국들이 기후변화 영향에 대한 이해와 평가를 강화하여 실질적인 적응 행동과 대책 수립 시 의사결정을 지원할 수 있는 정보로 제공하는 것을 의무화 하였다. 2010년 COP16에서 채택된 칸쿤 적응 프레임워크(Cancun Adaptation Framework: CAF)는 LDCs 작업프로그램을 포함한 국가 적응 계획의 실행을 공식화 하였다.

UNFCCC의 정의에 따르면 ‘기후변화 적응’은 현재 또는 앞으로 예측되는 기후 자극이나 그 영향에 대한 자연 및 인간시스템의 적응을 의미한다. 이는 기후변화에 따른 피해(harm)를 완화하거나 이익이 될 수 있는 기회를 탐색하는 모든 행동을 포함한다.¹⁾ 여기서 자연시스템의 적응은 유기체가 환경에 적합하도록 진화하는 과정에서 환경변화에 효과적으로 반응하도록 변화하는 것을 의미한다(Korea Adaptation Center for Climate Change). 적응 개념은 “기후 변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)”에서 발간한 제4차 및 제5차 평가보고서(Assessment Report: AR)를 통해

보다 구체화되었다. AR4에서는 “현재와 미래 기후 변화의 파급효과와 영향에 대해 자연·인간시스템의 취약성을 줄이는 조치”라고 정의한 바 있다. AR5에서는 “기후변화와 그 영향에 대하여 적응해가는 과정 전체”로 표현하였으며, 취약성에서 더 나아가 “리스크 기반의 조치”이자, “기후변화가 야기할 리스크 뿐 아니라 이익이 될 수 있는 기회에 대한 조치”라는 보다 큰 개념을 의미한다(Figure 1).

적응은 최근 새롭게 등장한 개념이 아니라 1990년 초반 UNFCCC를 통해 국제사회에서 공식적으로 논의되기 시작한 이후 현재에 이르기까지 그 의미와 범위 및 적용대상이 확장되어왔다. 현재 자연시스템을 비롯한 인간시스템의 조절을 대상으로 하며, 위해의 완화에서 더 나아가 기회에 대한 탐구로 정의하고 있다. 적응의 절차와 범위 역시 영향의 예방, 기후변화에 의한 손실 및 위협에 대한 정책적 대처를 포함하여, 연구 및 교육, 행동의 변화와 같은 전사적 대응으로 확장되어왔다.²⁾ 적응의 대상은 1990년대 초반 선진국 당사국들이 기후변화에 취약한 사회구

- 1) Adjustment in natural or human systems in response to actual or expected climatic stimuli or their effects, which moderates harm or exploits beneficial opportunities (IPCC Glossary).
- 2) 기후변화 영향 관측 및 발생 이전의 예측적 적응(Anticipatory adaptation), 생태계 변화와 인간시스템 내 시장 및 복지의 변화에 의해 촉발되는 동시적 적응(Autonomous adaptation), 기후변화의 영향에 대한 회복을 통해 이전의 상태로 회귀, 유지, 도달하려는 정책 결정과 같은 계획적 적응(Planned adaptation)으로 구성.

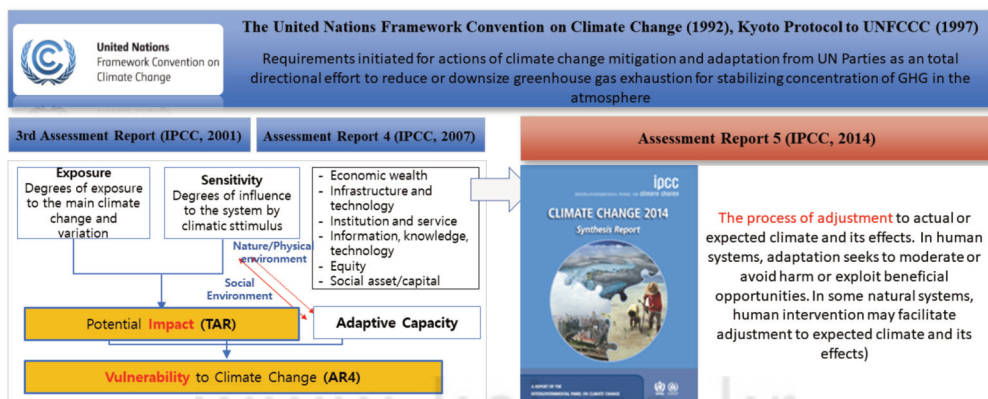


Figure 1. Concept of adaptation stated in IPCC report (Yeo et al., 2017)

조를 지닌 개도국을 위해 적응기금을 지원하는 것으로 시작하여, 현재 모든 당사국들을 대상으로 국가 전 부문을 아우르는 적응계획 수립과 이행강화로 확장되었다. 이에 개도국의 적응능력 향상과 선진국 당사국의 적응 효율성 향상을 포함하여 전 지구적 측면의 적응능력을 강화하기 위해서는, 끊임없는 연구 및 기술개발 및 교류와 함께 경험적 지식의 내재화가 필요하다.

2. 생태분야 기후변화 적응

AR4 이후 국가 전 부문을 아우르는 적응계획의 수립 및 이행 강화가 요구되었고 각 당사국들은 국가 기후변화 적응계획을 수립하게 되었다. 적응의 범위와 방법론은 부문별로 상이하므로 생태분야의 적응에 대한 정의 및 범위 설정을 통해, 생태분야의 기후변화 영향 및 취약성 평가와 적응계획 수립에 접근해야 한다. 이와 관련하여 AR5에서 리스크 기반의 적응 조치를 요구하는 만큼, 생태부문에서는 리스크를 발생시키는 요소인 위해, 노출, 취약성에 대한 생태적 정의와 분석이 필요하다. 관련용어의 일반적 정의는 다음과 같다. ‘위해(hazard)’의 경우 생태계에 미치는 위험로운 기후 이벤트의 경향, 자연 및 인

간이 유도한 물리적 사건, 서비스, 공급, 자연자원에 대한 피해와 손실을 의미한다. ‘노출(exposure)’은 종 및 생태계, 서비스 등 부정적인 영향을 받을 수 있는 장소 및 시스템의 환경조건(setting)을 의미한다. ‘취약성(vulnerability)’은 부정적인 영향을 받기 쉬운 경향(propensity)이나 조건(preposition)이며 피해를 야기하는 민감도(sensitivity), 민감성(susceptibility)에 대한 시스템의 대처능력을 포함한다.

생태분야 리스크 및 취약성 요소를 정의하고 평가하여 활용한 사례로 영국의 “기후변화 적응 매뉴얼(Climate Change Adaptation Manual)”을 들 수 있다(Natural England 2015). 해당 매뉴얼에서는 특정 생태계 유형과 장소별로 상이한 노출 수준, 기후변화에 대해 생태환경과 종이 가지는 내생적 민감도, 생태계가 기후변화에 대해 가지는 내생적 능력을 바탕으로 생태계의 취약성을 도출할 수 있으며, 이 취약성은 인간의 생태계 관리 능력에 따라 악화되거나 완화될 수 있다는 개념 아래, 생태계 유형별 적응방안의 범위를 설정하였다(Figure 2). 이후 생태계 유형별 위해와 영향, 민감도, 적응능력에 대한 관측 및 경험적 데이터, 모니터링에 근거하여 국가보호지역

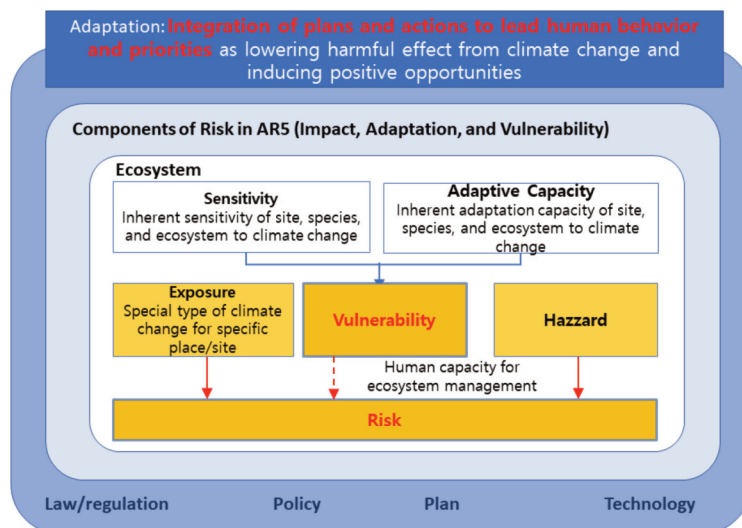


Figure 2. Concept and range of climate change adaptation in ecosystem sector- The concept applied in ecosystem sector in Climate Change Adaptation Manual published by UK Natural England (Yeo et al., 2017)

등 생물다양성과 생태계서비스 관련 공간 계획 및 보전 조치를 제안하였다.

우리나라 “기후변화 적응대책”에서 다루는 생태분야 기후변화 적응의 정책적 범위는 서식지와 생물종의 현재 및 미래 리스크를 예측하여, 리스크 저감 조치를 적응대책 내에 마련하고 향후 모니터링을 통해 지속적으로 리스크를 관리하는 것이다(Yoo & Kim 2008; Chae et al. 2013a; Lee et al. 2013b; Park et al. 2014; Cho et al. 2014). 리스크 기반의 기후변화 적응 방안 도출을 위해서는 국제사회의 기후변화 적응 체계와 맥락을 같이 하고, 정책과의 연계성, 학문적 통용성의 관점에서 국가 생태계 특성과 리스크 평가방법에 대해 합리적 설정이 먼저 이루어져야 것이다(Park et al. 2014; Chae et al. 2016). 이를 어렵게 하는 요소 중 하나는 국내 생태분야 관련 연구 및 지식의 축적과 공유의 부족이다. 영국 등 선진 사례에서 찾아볼 수 있듯이 기후변화 리스크 관리 체계의 적응에 대한 실효성은 연구 및 지식의 축적을 통한 의사결정 지원, 정책 제안 및 수행의 연결고리를 통해 작동할 수 있을 것이다.

3. 리우 협약과 국가적응 계획의 통합 이슈

2017년 11월, 유엔기후변화협약(UNFCCC), 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity: CBD), 사막화방지협약(United Nations Convention to Combat Desertification: UNCCD)에 대한 공동의 이슈를 해결하는 것과 더불어 지속가능개발목표(Sustainable Development Goals: SDGs)달성을 위한 대규모 프로젝트 수행과 재정확보 방안에 대한 논의가 진행 중이다(UNEP Press release).³⁾ 이는 Rio 협약 및 SDGs의 효율적인 달성과 시너지 창출을 위해 관련 이슈와 적응이 국가계획 내에 조직적이고 유기적으로 통합될 필요성을 시사한다. 이러한 관점에서 유럽 선진국들에서 생물다양성 협약, 지속가능개발목표, 기후변화 적응에 대한 국가정책, 계획, 전략의 유기적인 연계에 대한 모범적 선례를 찾을 수 있다. 이들 국가는 국제 협약과 규범의 준수라는 측면에서 공통된 목표의 통합과 함께 효율적 이행을 해왔을 뿐 아니라, EU 공동체 차원에서 회원국에 이르기까지

수준 및 단계별 프레임워크를 설정하여 효율적으로 가동시키고 있다. 그 대표적 사례가 영국의 UK Post-2010 Biodiversity Framework(2011-2020) 실행 체계이다. UN CBD 준수를 위해 EU의 행정부 역할을 담당하는 유럽연합 집행위원회(European Commission, EC)에서는 2020년까지 유럽차원의 생물다양성 향상을 위해 6개 타겟과 20개 액션으로 구성된 EU 생물다양성전략(EU Biodiversity Strategy, EUBS)을 채택하였다. 이에 영국(England, Scotland, Wales, Northern Island)은 회원국 레벨에서 해당 전략의 달성을 위하여 국가의 생물자원 목록화 및 자원보전을 위한 상세계획인 UK 서식지 실행계획(UK Biodiversity Action Plan, BAP)을 EU 국가 최초로 수립하여 1994년 발간하였다. BAP는 영국 내 멸종위기종과 서식지 회복을 위해 우선적으로 고려되어야 할 종과 서식지를 설정하고 보전계획에 활용함으로써 영국 내 생물다양성 손실 저감 향상에 기여하였다(Joint Nature Conservation Committee, JNCC)⁴⁾ (Figure 3).

EU에서 Birds Directive가 환경에 관한 가장 오래되고 기초적인 입법 중 하나라면 Habitats Directive는 유럽 수준에서 야생동식물 보호에 대한 종합적인 법 및 정책기반이다. 이 두 지침에서 지정하고 있는 특별보호지역(Special Protection Areas: SPAs) 및 특별보전지역(Special Areas of Conservation: SACs)가 유럽 전체의 생태네트워크인 Natura 2000을 구성한다. 각 지침은 회원국 수준에서 국내법에 수용되고 시행되는데, 일련의 프로세스에(해당 지침에 따른 법 및 정책 반영, 서식지 보전을 위한 공간

3) 생물다양성협약 홈페이지 press release: UN Heads call for assistance to address linked climate change, biodiversity and desertification threats (<https://www.cbd.int/doc/press/2017/pr-2017-11-13-rio-convention-en.pdf>).

4) 영국 정부 및 산하기관에 대한 법적고문(statutory adviser) 역할. JNCC에서 영국 내 보호지역 설정을 위한 관측 기법 사용 지침과 모니터링을 위한 공통 기준(Common Standards Monitoring) 제시, SACs 및 SPAs 선정 및 검토를 위한 데이터 수집, 분석, 가이드라인 작성을 포함하여 보호지역을 선정하고 국가차원에서 유럽 집행위원회에 대응하는 작업 등 수행. 공식홈페이지(<http://jncc.defra.gov.uk/>).

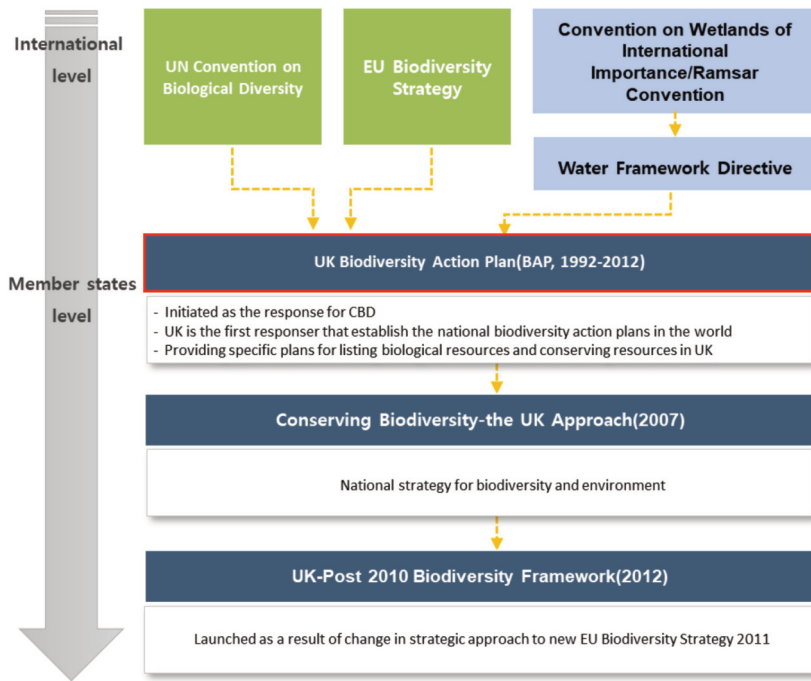


Figure 3. Exemplary linkage between nationwide policy and CBD-U.K. Biodiversity Action Plan (Yeo et al., 2017)

전략 등) 대한 모범적 수행 사례를 영국에서 찾아볼 수 있다. 영국의 서식지 보호, 지정 및 조언에는 이상에서 서술하였던 야생 동물 및 자연 서식지 보존에 관한 협약(Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats: CCEWNNH), CBD와 같은 국제협약을 준수하게 위해 영국 의회에서 “야생동물 및 전원법(Wildlife & Countryside Act 1981)”을 제정하여 ‘위협에 처한 자생종 보호’, ‘외래종 출입 통제’, ‘과학적특별관심지역(Sites of Special Scientific Interest: SSSI) 보호’, ‘국립공원에 관한 규칙’을 시행한 것과, EC Habitats Directive를 달성하기 위해 마련한 여러 정책 수단과 보호지역 지정 체계가 그 사례이다. 특히 영국 보호지역(UK Protected Sites) 지정 및 관리는 영국 내 풍부한 육상 및 담수 서식지를 보전하기 위한 주요 정책 도구이다.

III. 국내외 생태분야 기후적응 정책 사례 및 적응 연구 현황

1. 국외 정책 현황

1) 영국

영국은 기후변화 영향 및 리스크 관리 프레임에서 적응정책을 수립하고 있으며 유럽국가 중에서도 기후변화협약과 함께 지속가능 발전 전략 및 생물다양성협약의 준수라는 틀에서 생태부문 적응계획을 수립하고 있는 모범 선례를 보여주고 있다. 영국의 기후변화 적응 및 완화에 대한 법적 장치는 2008년 제정된 기후변화법(Climate Change Act)으로 기후변화리스크평가(CCRA) 및 국가적응프로그램(NAP), 적응보고제도(Adaptation Reporting Power: ARP)를 의무화하고 있다.⁵⁾

5) 영국정부 정책보고서 <https://www.gov.uk/government/publications/2010-to-2015-government-policy-climate-change-adaptation/2010-to-2015-government-policy-climate-change-adaptation>

Table 1. International conventions or directives considered in climate change adaptation of ecosystem sector in UK

	Title	Adopted year
Convention	UN Convention on Biological Diversity; Biodiversity Convention; CBD	1992
	Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats; Bern Convention	1979
	Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals; Bonn Convention; CMS	1979
	Convention on Trade in Endangered Species of Wild Flora and Fauna; CITES	1973
	Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic; OSPAR Convention	1992
	Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat; Ramsar Convention or Wetlands Convention	1971
	Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage; UNESCO World Heritage Convention	1972
	European Landscape Convention, Council of Europe	2000 (amended by UK government in 2006)
Directive	Water Framework Directive; WFD	2000 signed
	Floods Directive; FD	2007
	Urban Waste Water and Treatment Directive; UWWTD	1991
	Habitats Directive	1992 (signed) and presently under reviewing process by Defra
	Birds Directive	1979 (signed) and 2009 (amended)
	Marine Strategy Framework Directive)	MSFD, 2008

영국은 생태분야에서 극심한 기상현상과 기후변화 증가에 따라 취약성이 증가하지만 다양한 예방 및 관리 조치를 통해 기후변화 완화 및 적응이 가능함을 인식해왔다(NEA, CCRA). 이에 대한 조치로 생태분야 리스크 평가 및 적응대책 수립에 있어 기존의 관련 국제협약 및 EU지침(Directive)의 준수를 함께 고려하고 있으며 그 종류는 Table 1과 같다(UK CCRA 2012).

영국은 국제협약과 EU 지침에 근거하여 관련 협약의 목표를 적응계획에도 반영하고 있다. CBD와 EU 지침 준수를 위한 국가적 노력의 일환으로 2011년 자연환경백서 'The Natural Choice: securing the value of nature'를 발간하였으며, 백서 전체에 걸쳐 생물다양성과 생태계서비스의 중요성과 함께 기후변화로부터 자연환경을 보호하고 향상시키기 위한 적응방안을 주제로 다루고 있다. 생태분야 적응에 있어 CCRA는 기후변화에 따른 생태계 리스크와 기회에 대한 정보를 제공하고, NAP에서는 이를 활용하여 생태계의 회복력을 개선하는데 필요한 조치를

결정한다.

영국의 국가 적응프로그램은, 기후변화에 따른 생태계 영향에 대한 리스크 평가 및 적응대책 수립을 위한 과학적 근거기반 연구와 함께, 데이터 수집, 연구프로그램 계획 및 실행이 정책적으로 뒷받침되고 있다고 할 수 있다. 2008년 제정된 기후변화법(Climate Change Act)에 근거하여 기후변화 리스크 평가 및 적응대책 수립 사이클을 의무적으로 실행하고 있으며, 생태분야 적응방안은 CBD, 람사르 협약 등 다양한 국제협약과 서식지 보호 관련 지침 준수 하에 국내법 및 전략으로 통합되어 왔다. 특히 생태분야 기후변화 영향 관련 지식에 대한 이해 향상과, 최상의 적응방안 마련을 위해 뒷받침되어야 할 지식의 중요성을 고려하여 1차 NAPs에서 4대 중심 영역 중 하나로 근거기반 개선을 정책적으로 강조한 바 있다. CCRA 평가를 위해 보다 풍부한 과학 근거기반을 마련하기 위해 연구자 및 다양한 전문가의 협업으로 Evidence report를 발간한 것을 비롯하여, 2차 CCRA에서 리스크별 4가지 적응 전략 중 하나로 연

Table 2. Adaptation strategies for climate change risk assessment in UK

	Adaptation Strategies in Natural Environment
More Action Needed	(Ne1) Risks to species and habitats due to inability to respond to changing climatic conditions (Ne2) Opportunities from new species colonizations (Ne4) Risks to soils from increased seasonal aridity and wetness (Ne5) Risks to natural carbon stores and carbon sequestration (Ne6) Risks to agriculture and wildlife from water scarcity and floodings (Ne8) Risks of land management practices exacerbating flood risk (Ne12) Risks to habitats and heritage in the coastal zone from sea-level rise; and loss of natural flood protection
Research Priority	(Ne3) Changes in suitability of land for agriculture & forests (Ne7) Risks to freshwater species from higher water temperatures (Ne13) Risks to and opportunities for marine species, fisheries and marine heritage from ocean acidification and higher water temperatures
Sustain Current Action	(Ne9) Risks to agriculture, forestry, landscapes and wildlife from pests, pathogens and invasive species (Ne10) Risks to agriculture, forestry, wildlife and heritage from change in frequency and/or magnitude of extreme weather and wildfire events (Ne11) Risks to aquifers, agricultural land and habitats from saltwater intrusion
Watching Brief	(Ne14) Risks and opportunities from changes in landscape character

Reorganized from UK Climate Change Risk Assessment 2017

구적 우선순위(Research Priority) 부여 노력이 필요한 리스크 항목을 명시하였다. 2차 CCRA에서는 리스크 평가에 따른 과학적 근거기반을 바탕으로 다음 4가지 유형의 적응 전략을 취하고 있다. 1차 CCRA는 '생물다양성 및 생태계서비스 리스크'의 연장선상에서, 2차 CCRA에서는 14개 '자연환경(Natural Environment) 리스크'에 대한 조치를 Table 2와 같은 4개 적응 전략으로 나누어 대응하고 있다. 자연환경 리스크 7개 항목에 대한 정책 신설, 3개 항목에 대한 연구 강화, 4개 항목에 대한 적응 수준의 유지 및 관리, 1개 항목의 장기모니터링으로 구성된다.

리스크 평가와 적응대책에 있어 지식 격차로 인한 불확실성과 오차는 정책과 계획의 성패를 결정하기도 한다. 이에 영국에서는 기후변화 자체의 불확실성 뿐 아니라 생태분야에서 축적된 데이터의 양 및 질적 한계로 인한 지식 격차를 인정하고 근거기반 향상 연구를 정책적으로 뒷받침하고 있다. 기후 및 생태분야 연구에 있어 기존의 과학 접근법 뿐 아니라, 다학제적 연구를 추구함으로써 기후변화가 가져오는 부문 간 교차 이슈(cross-cutting)를 해결하고, 교차이슈가 발생하는 타 부문의 적응 및 완화에 대해 생태계 기반 접근을 유도하도록 정책방향을 이끌고 있다.

영국 서식지 보호 정책 및 연구 실행기구인 Natural

England에서는 국가 자연보전지역 등을 대상으로 27개 서식지 유형에 대해 기후변화 취약성을 평가하고 그에 따른 적응방안을 제시하여, 국가정책 및 계획 관련 의사결정자, 보호지역 관리자, 복원 및 보전 기술자 등 다양한 주체에게 적응 경험 및 지식을 공유하였다. Natural England에서는 적응계획을 국토 공간 위계별로 나누어 각 위계별 주요 이슈와 적정 대응방안을 제시하였다(Table 3). 국가 차원에서는 멸종위기종 등 보전적 우선순위를 가지는 종에 대해 기후변화 영향, 기존 혹은 침입외래종과의 상호작용을 파악하고 주변 서식지의 취약성 및 회복력 정도를 고려하여 현재 보전목표를 진단 및 보완하거나 강화된 적응 전략 수립을 제안하였다. 서식지 차원에서는 민감도, 내생적 적응능력 등 개별 서식지 특성에 따라 나타나는 기후변화의 잠재적 영향에 대해 영국 Natural England, 왕립조류보호학회(UK-Royal Society for the Protection of Birds: RSPB), 환경청, 산림연합 등 관련기관과 서식지 관리실무자 및 연구자의 전문성 또는 경험을 바탕으로 한 근거 및 정보를 제공해서 적응에 대한 의사결정을 지원하였다. 구체적으로, 기후변화가 서식지의 질적 저하(인위적인 영향에 의한 서식지의 파편화 등)와 맞물려 야생동식물에 대한 영향을 악화시킬 수 있음을 인

Table 3. Major considerations for adaptation in level of details

Level of details	Ecological impact	Considerations
National Ecosystem	<ul style="list-style-type: none"> - Places appeared with rare and endangered species, landscape characteristics, and ecosystem (in general or not) - Whether considered with priority 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessity of adjusting adaptation plans in other sites - Management issue complementary crossed
Land use and landscape	<ul style="list-style-type: none"> - Species movement and ecological process in the range of outer site - Environmental pressure and subsequent change from out of sites - Size of protected areas or other area of conservation (whether enough to support existence or movement of species) 	<ul style="list-style-type: none"> - Options affecting land use, landscape, site, and ecosystem process - Linkage and integration of habitat patches of good quality under different types of microclimate
Specific sites	<ul style="list-style-type: none"> - Impacts from past climate event in the specific site - Climate change expected in the future 	<ul style="list-style-type: none"> - Target of conservation - Degree of change acceptance (coping capacity and will) - Management options

지하고, 서식지의 회복력 향상을 통한 적응방안을 고려하였다. 그 방안의 첫 번째는 보전계획 및 복원의 측면에서 충분한 크기의 서식지 조성을 통해 극한 이벤트에 대한 서식지의 영향을 완충하고 종의 생존을 지원하며, 장기적 기후변화에 따른 종의 분산을 보다 안정적으로 지원하는 것이다. 두 번째로, 서식지의 지형적 특성, 토양 유형, 식생구조와 같은 복합적 요인에 의해 형성되는 다양한 미기후 조건이 보다 다양한 동식물의 생존을 지원할 수 있다는 관점에서, 환경적 다양성을 유지 및 창출함으로써 보전 사이트의 회복력을 향상시키는 것이다. 세 번째로 생태네트워크 수와 면적을 최대한 확대하여 연결성이 높고 회복력 있는 생태공간을 창출하는 것이다. 마지막으로 종의 취약성과 다양성을 확보하는 것이다. 경관적 일관성의 관점에서 종의 이동성을 지원하고, 생태계에 대한 관리적 노력을 통해 취약종의 생존을 돕거나, 다양한 종의 서식을 지원하는 것이다. 이상의 관점을 통해 생태계, 종, 서식지의 상호작용과 생태계 프로세스를 통해 회복력을 향상시킬 수 있는 적응계획과 실행방안의 중요성을 강조하고 있다.

2) 독일

독일연방정부에서는 2008년 독일 적응전략(Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel: DAS)을 채택하여 국가 중장기 계획

으로서 적응 대책을 개발하고 실행하는 토대를 제공하였다. 생물다양성(biodiversity) 부문에서는, 기후변화에 대한 적응전략으로서 실효성 있는 비오톱 네트워크의 구축(establishing effective biotope networks), 기후변화에 따른 보호지역 시스템 조정 및 개발(further development of the system of protected areas), 기후변화 취약종과 비오톱 보전(support for species and biotopes likely to be particularly affected), 침입외래종의 관리(Dealing with invasive species)와 같이 종과 서식지 보전·보호를 위한 적응행동의 요구와 함께, 자연 보전적 관점에서 신재생에너지 생산과 효율적 이용(taking account of nature conservation aspects in the generation and promotion of renewable energy sources), 경관 계획(landscape planning as a management approach), 농업생태계 관리(agrobiodiversity)와 같이 관련 부문에 대해서도 생태계 기반 접근을 취하고 있다.

독일의 기후정책은 IPCC 평가보고서에 상당부분 근거하여 수립되었으나, 기존의 관련 국가 전략들과 긴밀한 연계 및 통합을 꾀하고 있다. 다양한 국제 협약들의 협상 및 이행 프로세스를 거쳐 적응 개념을 발전시켜왔으며, CBD는 독일의 생물다양성과 기후보호 정책에 걸쳐 광범위하게 작용해오고 있다. 연방자연보전청(Federal Agency of Nature Conservation:

BfN)에서는 자연보전, 생물다양성 보호, 자연보전의 목표와 관행(practice), 환경적 윤리와 관련하여 기후변화의 적응과 완화의 연계성에도 주목하여 정책을 실행하고 있다. DAS와 국가생물다양성전략의 연계는 국가의 기후변화 적응과 자연 보전 정책 통합에 기여할 수 있으므로, 국가전략 내에 이러한 개념을 반영하고 있다. 이러한 관점에서 독일의 생태분야 기후변화 적응대책은 영국과 유사하게 독일의 지속가능한 개발을 위한 국가 전략(National Strategy for Sustainable Development: NSSD) 및 국가 생물다양성 전략(National Biodiversity Strategy: NBS) 등 기존의 관련 정책 및 법제를 아우르면서 기후변화 주류화(mainstreaming)를 추구하고 있다. 이상의 주류화를 통해 기후영향과 취약성의 시간적 연속성 뿐 아니라 국토-지역-환경계획 등 공간 스케일의 연속성에서 적응방안을 마련하고 있다는 점이 주목할 만하다.

독일에서는 미래 기후변화의 불확실성과 기후변화 매커니즘 등 과학적 지식의 부족으로 인해 적응을 위한 의사결정의 어려움과 적응행동의 한계를 인식하고 지식기반 개선을 목표로 관측, 모델링, 시뮬레이션 시스템 구축과 같은 기반 연구를 진행하고 있다. 연방정부, 주정부, 국가과학연구소(Max-Planck-Association, Leibniz Association, Helmholtz Association), 대학교, 회사 등과 같이 행정, 연구, 사업간의 긴밀한 연구 프레임워크를 통해 기후 영향 연구를 수행하고 있다. 생태부문과 관련된 국가 연구 프로젝트 사례로 수로 및 선박분야의 기후변화 영향 연구 프로그램(Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt: KLIWAS)와 지역 기후변화 대응 프로젝트(Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten: KLIMZUG)를 들 수 있다. 기후변화와 지역 영향에 대한 지식은 기후모델 계산과 함께 불확실성을 개선하는 지구모델과 지역기후모델을 활용한 모델링 상세화 작업이 먼저 이루어진 후, 그 결과를 수문 등 다양한 기후 영향 모델과 결합하여 얻을 수 있다. 이러한 관점에서 2009년부터 수문 관련 기후변화 영향과 적응 옵션을 위한 국가연구프로그램인 KLIWAS를 진행하였으며,

이후 2011년에 중장기 기후전망인 MiKlip(Decadal Climate Prediction)을 연구에 활용하고 이를 DAS 과정에 도입하였다. KLIWAS 연구프로그램은 독일연방수문학연구소(Bundesanstalt für Gewässerkunde: BfG), 독일연방해운수리청(Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie: BSH), 독일기상청(Deutscher Wetterdienst: DWD), 독일연방수로연구원(Bundesanstalt für Wasserbau: BAW)과 같은 기관 참여 하에 독일의 내륙 및 해안수생태 관련 기본데이터 수집과 기후전망을 개발하는 연구이다. KLIWAS는 학계 등 관련 기관과 세계적 전문가로 구성된 과학자문위원회(Scientific Advisory Board)를 통해 연구를 진행하였다. KLIWAS는 5개 분야의 Research Task를 통해 '기후', '지구 및 지역 기상', '해양공학 및 수자원', '환경독성', '해안 및 담수 생태계 특성과 관리' 등의 연구주제를 설정하였다. 각 분야별 연구진행 이후 그 결과를 다중모델 접근방식에 근거하여 연동할 수 있도록 하였다. 수생태계와 관련해서는 벨기에 Antwerpen 대학교, 오스트리아 Vienna 대학교 등의 참여를 통해 생태계 영향 및 관리에 대한 연구를 진행하였다.

3) 호주

호주의 국가기후변화적응체계(National Climate Change Adaptation Framework: NCCAF)는 호주 연방-주정부 협의회(Council of Australian Governments: COAG)⁶⁾의 기후변화협조 행동계획(Plan of Collaborative Action on Climate Change)의 일환으로 2006년 2월 COAG가 호주연방정부에 해당 계획 수립을 요청하였다. 이후 NCCAF는 2007년 호주 기후변화·에너지효율부(Department of Climate, Change and Energy Efficiency:

6) 호주 연방정부, 6개의 주정부 및 2개 준주(mainland territories), 호주 지방 정부 협회(Australian Local Government Association)로 구성된 조직. 연방정부와 지방정부간 협조적 행동(e.g 연방정부와 주정부, 주정부간, 준주정부간, 주정부와 준주정부간)을 필요로 하는 정부활동에 대한 토론 및 조정 수행. 호주 국가기후변화적응연구시설 NCCARF 홈페이지(<https://www.nccarf.edu.au/content/state-government>).

DCCEE) 총괄로 수립되었고 COAG 동의 이후 채택되었다. 부문 및 지역의 기후 취약성 및 리스크 평가와 적응에 대한 일련의 보고에 이어,⁷⁾ 2015년 호주정부에서는 “국가 기후회복 및 적응전략(National Climate Resilience and Adaptation Strategy: NCRAS)”을 발표하여 효과적인 적응의 실행과 회복력 구축을 유도하는 일련의 원칙을 수립하고, 그에 따른 국가 적응행동의 우선순위를 설정하였다. 호주에서는 건강한 생태계가 기후변화의 영향에 보다 회복력이 있음에 주목하여, 국제협약, 국내법, 보전 정책을 통해 건강한 생태계 유지와 생물다양성 보전을 위한 노력을 취해왔다. 2015년 NCRAS 자연생태계 부문에서, 호주 생물다양성 보전전략(Australia’s Biodiversity Conservation Strategy 2010~2030: ABCS)과 국가보호지역 시스템 전략(Strategy for Australia’s National Reserve System 2009~

2030)은 경관규모에서 건강한 생태계를 유지하고 생물종의 기후변화 적응을 지원하는 정책 프레임을 통해 생태계 회복력 향상을 추구하고 있다.

호주의 기후관련 연구는 국가환경과학프로그램(National Environmental Science Programme: NESP)의 지원으로 수행되었다. NESP는 호주의 환경 및 기후연구에 대한 장기적 노력의 일환으로, 환경 및 생태계에 대한 이해, 관리, 보전에 있어 세계적인 수준의 정보를 제공하는 연구프로그램이다. 호주는 태평양 지역의 기후과학 지식기반을 구축하고 현재 및 미래의 기후리스크에 대한 회복력 강화와 이에 대한 인식 증가를 위해, 태평양-호주기후변화과학 및 적응계획(Pacific-Australia Climate Change Science and Adaptation Planning programme:

7) 호주환경에너지부홈페이지(<http://www.environment.gov.au/climate-change/adaptation/publications>).

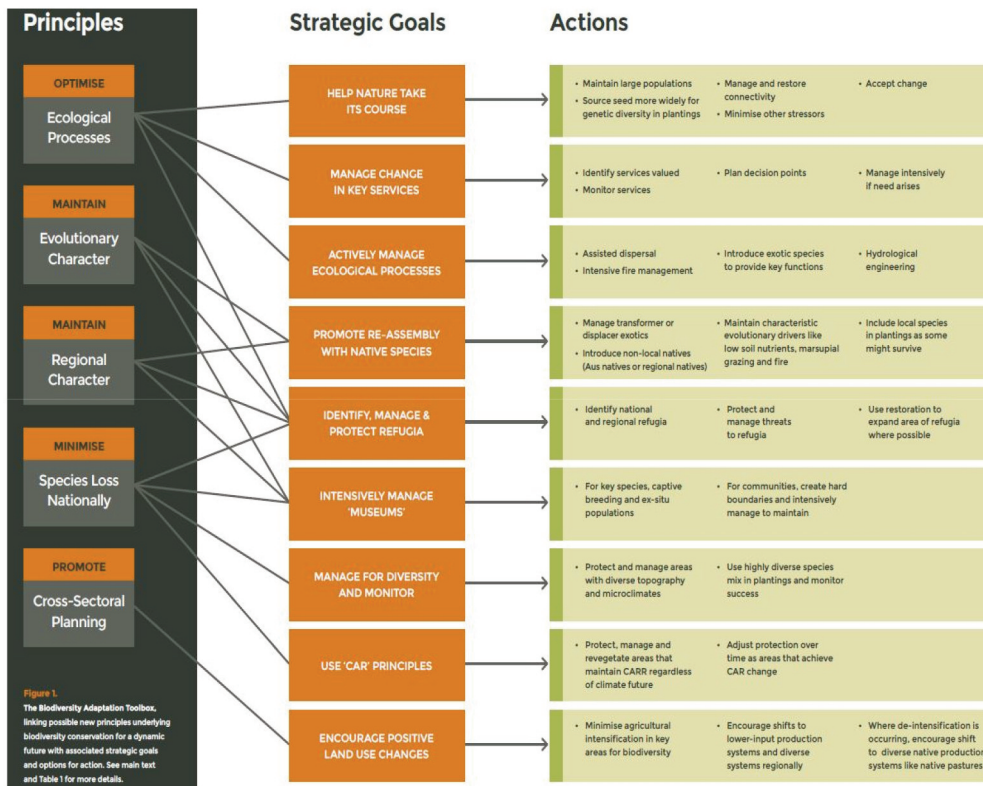


Figure 4. Biodiversity adaptation toolbox of AdaptARM

Source: <https://adaptm.csiro.au/biodiversity-options/the-biodiversity-adaptation-toolbox/>

PACCSAP)을 마련하여 14개 태평양 도서국의 적응을 지원하였다.

호주는 AdaptNRM⁸⁾이라는 국가 주도 생물자원관리 프로젝트를 통해 자연자원 및 생물다양성의 기후 영향과 적응 정보를 공유하고 있다. AdaptNRM에서는 “Helping Biodiversity Adapt Guide”를 통해 적응과 관련한 의사결정 전반을 돕는다(Figure 4). 이 지침에서 제공하는 적응 의사지원 결정 정보는 ‘생물다양성 관점에서 기후변화의 의미’, ‘기후변화의 관점에서 생물다양성 보전에 대한 새로운 원칙과 접근방향’, ‘새로운 기후준비 원칙에서 전략목표와 행동 연계를 제시하는 Adaptation Toolbox’, ‘적응의 과학적 평가 및 정량화’ 방안, ‘사례연구와 관련 교육’이 그 예이다. 새로운 기후준비 원칙에서 Adaptation Toolbox를 통해 생물다양성 계획 및 관리의 새로운 원칙, 전략적 목표, 구체적 실행옵션을 제공함으로써 생물다양성 계획가 및 관리자들과의 소통을 지원한다. AdaptNRM에서 채택한 적응의 과학적 평가와 정량화는 기후변화에 대한 생물다양성의 함의를 고려하여 생물종 및 공간데이터와 수학적 방법론을 활용하여 도출하고 있다. 정량화하는 항목은 생태적 유사성 전망(projected ecological similarity: PES), 생태적 변화의 잠재도(potential degree of ecological change), 종분산 지원에 대한 필요성(need for assisted dispersal), 생태적 피난처 포텐셜(refugial potential) 등이다.

4) 미국

미국은 지구적 차원에서 기후변화 영향을 인식하고 과학적 메커니즘을 규명하기 위해 자연과학연구에 대해 법 및 정책적으로 뒷받침하는 오랜 역사를 가진 국가 중 하나이다. 기후연구프로그램에 대한 국가적 노력은 1978년 국가기후프로그램법(National Climate Program Act: NCPA)에서부터 시작되어 국가의 종합 기후정책 및 프로그램 수립을 요구하기에 이르렀다. NCPA는 1990년 지구변화연구법(Global Change Research Act: GCRA)으로 개정되어, 현재까지 미국 연방정부부처 및 연방청에서 지구변화 연구프로그램을 의무화하는 법적 프레임워크

로 실행되어 오고 있다. 미국에서는 국가기후평가(National Climate Assessment: NCA)를 통해 생태계를 포함한 다양한 부문의 기후변화 영향과 취약성을 평가하고 있다. NCA는 생태계를 어떤 지역에서 공기, 토양, 물, 일사와 상호작용하는 생물체를 수반하는 시스템으로 정의하고 서식하는 종의 수, 삶의 형태, 유전 유형, 서식지 및 기후 Biome 등의 조합에 따른 다양한 삶의 관점에서 생물다양성을 다루고 있다. 미국에서는 2001년 NCA를 통해 “자연생태계는 기후변화의 해로운 영향에 가장 취약하다”라는 결론을 내리고 기후변화의 다양한 현상(가뭄, 홍수, 화재, 해충발병 등)들이 생물의 계절적 이벤트와 함께 종의 이동과 장기적 측면에서는 멸종을 야기할 수 있으며 기후변화 영향이 생태계의 완충능력을 넘어설 때 되돌릴 수 없는 결과를 가져올 수 있음에 주목하였다. 기후변화에 대한 생태계 영향은 자연 자체의 변화 뿐 아니라 토지이용 및 농업 등 인위적 활동도 하나의 주요한 동인이므로 인간 활동과 관련된 요소의 조절을 통해 기후변화의 속도와 규모, 인간 및 자연적 취약성의 증감을 고려해야 한다는 입장을 취하고 있다.

미국국제개발처(U.S. Agency for International Development: USAID)에서는 생물다양성과 국가 기후변화적응 통합 주류화를 위해 해당 개념 및 계획의 통합을 제안하였다. USAID 생물다양성정책(USAID biodiversity policy 2014)에서는 인간활동 및 개발에도 생물다양성 보전을 우선순위로 두고 생태계 기반 보전접근을 목표로 삼고 있다. 여기서 생물다양성에 대한 5대 위협을 CBD에서와 같이 (a) 서식지 손실 및 저하(habitat loss and degradation), (b) 기후변화(climate change), (c) 오염 및 과도한 영양 부하(pollution and excessive nutrient load), (d) 남획과 지속불가능한 이용(overexploitation and unsustainable use), (e) 침입외래종(invasive alien species)으로 두고 국가 생물다양성 관련 정책에 고

8) 호주 AdaptNRM 공식홈페이지 - “Helping Biodiversity Adapt” 소개 (<http://adaptnrm.csiro.au/biodiversity-options/>).

려하였다.

미국의 국가 기후변화 관련 적응노력의 주요한 행위 주체는 각 주정부들이라 할 수 있다. 주정부가 여러 거버넌스 스케일에서 적응을 장려하거나 지양할 수 있는 정책과 프로그램을 개발하고 적응 행동을 취하고 있다. 2013년에 15개 주에서 기후적응 플랜을 완성하였으며 4개 주에서 그 계획을 수행하고 있고 7개 주에서 적응 계획을 제안하고 있는 단계이다 (Figure 5).

미국의 기후변화 적응은 기초과학연구 중심의 적응이 관련법의 지원 아래 오랜 역사를 가지고 선행되어 왔으며, 기후변화와 지구변화 연구 분야에서 세계 최대 규모의 투자를 해왔다. 기후연구프로그램에 대한 국가적 노력은 1978년 국가기후프로그램법(NCPA)에서부터 시작되어 국가의 종합 기후정책 및 프로그램 수립을 요구하였다. 미국의 적응 역시 유럽 및 호주의 사례에서처럼 취약성 평가 및 적응대책의 본질적 요소와 맥락을 같이하여 기초과학 지식 개선, 평가 개선, 의사결정, 대중과의 소통 및 교육을 지원하고 있다. 특히 국제적으로는 IPCC의 보고서에 기여하는 동시에 국내적으로 기후변화연구를 강화하고

주도하도록 지구변화연구프로그램(U.S. Global Change Research Program: USGCRP)을 수행해 오고 있다. USGCRP는 기후에 대한 국가연구프로그램으로 1978년 국가기후프로그램법(National Climate Program Act)의 의회 통과와 함께 시작되었고, 1990년 지구변화연구법에 의해 의무화되었으며 현재 13개 연방 부처⁹⁾ 및 관련기관이 참여하고

9) 국제개발처(Agency for International Development), 농무부(United States Department of Agriculture), 국립해양 및 대기 관리(National Oceanic and Atmospheric Administration), 상무부 국립표준기술연구소(United States Department of Commerce and National Institute of Standards and Technology), 국방부(United States Department of Defense), 에너지부(United States Department of Energy), 보건복지부 국립보건원(United States Department of Health and Human Services, National Institutes of Health), 국무부(United States Department of State), 교통부(United States Department of Transportation), 내무부 지질조사소(United States Department of the Interior, United States Geological Survey), 환경보호처(Environmental Protection Agency), 국립항공우주국(National Aeronautics and Space Administration), 국립과학재단(National Science Foundation), 스미스소니언협회(Smithsonian Institution).

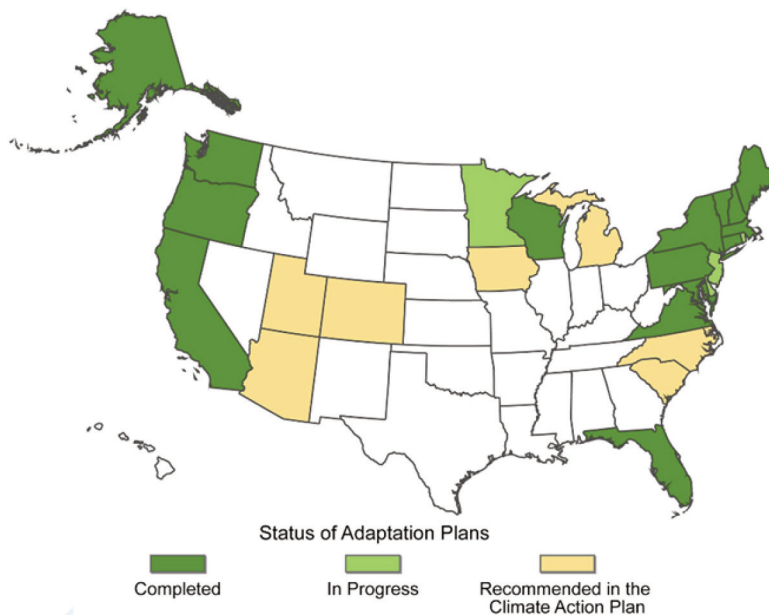


Figure 5. Current status for establishing adaptation plans in USA

Source: <https://nca2014.globalchange.gov>

있다. 미국 지구변화 연구프로그램인 USGCRP는 국가 기후변화연구 강화를 목적으로 하며, 1990년 지구변화연구법(Global Change Research Act)에 의해 의무화되었다. 해당 프로그램은 자연 및 인위적 요인에 따른 지구 변화 현상의 이해, 평가, 예측과 이에 대응하기 위한 종합적 연구 프로그램으로 생태분야에서는 생태계와 사회에 미치는 변화, 영향을 확인하고 적응전략을 뒷받침한다. USGCRP 프로그램 중 기후변화 리스크 평가와 맥락을 같이 하는 것이 국가 기후평가(NCA)이다. UGCRP 및 NCA를 통해 생물다양성과 생태계서비스가 기후변화에 영향을 받고 있으며, 인위적인 개발 등으로 인해 극한이벤트를 이겨낼 수 있는 생태계의 자생적 능력이 위협을 받고 있음을 확인하였다. 그 사례는 봄철 개엽시기 등 생물 계절이벤트의 변화로 인해 생물종의 먹이활동, 경쟁, 번식 탈락 등 생태계 프로세스가 변화하는 현상과 함께, 전염병 및 해충발병으로 인한 피해, 종의 서식 범위 변화 등이다. 기후변화와 맞물려 생태계 및 생물다양성 영향을 심화시키는 주요 동인은 농업, 토지이용 등 인간의 활동에 의한 것으로, 생태계에 미치는 직접적 영향을 줄이고 생태계의 회복력 향상을 위해 토지이용 및 공간계획을 통한 적응이 필요함을 강조하였다.

2013년 대통령 기후액션플랜(President's Climate Action Plan)을 통해 기후영향 관리에 있어 건전한 과학 이용의 중요성을 재차 강조함으로써 국가변화 조사 및 국가기후평가에 있어 다양한 부문의 과학 정보 개선 및 통합 노력이 강화되었다. 미국의 사례에서는 기후변화 과학 및 영향을 이해하고 소통하기 위해 권위 있고, 검증되고, 신뢰할 수 있는 정보를 생산, 관리, 공유하는 것에 대한 국가적 책임 의식을 엿볼 수 있었다. 이를 통해 생태계 분야를 포함한 기초과학에서 기후변화 예측기술의 향상, 미국 지역별 기후변화 정보에 대한 견실한 정보 구축과 함께 기후영향 평가 방법론이 확립되었다. 그 결과를 각 정부에서는 환경적으로 건전하고 지속가능한 미래 계획에 활용하고, 평가와 관련된 문헌의 원문, 관련 이미지, 평가 데이터들을 연구자, 기업, 일반시민 등 전 국민에게 공유하고 소통하게 함으로써 적응을 위한 국가적 참여를 장려하였다.

5) 일본

2015년 3월 일본 내각 자문기구인 중앙 환경위원회(Central Environment Council)에서 국가적응계획을 수립하기 위해 관련 분야의 전문가가 참여하여 “일본의 기후 변화 영향 평가 보고서 및 향후 과제 (Report on Assessment of Impacts of Climate Change in Japan and Future Challenges)”를 환경성에 제출하였다. 2015년 11월 일본 내각에서는 “기후변화의 영향에 대한 적응을 위한 국가계획 (National Plan for Adaptation to the Impacts of Climate Change)”을 발표하기 이르렀다. 일본 적응 정책보고서에서는 생태계 등 7부문¹⁰⁾의 영향 및 적응 조치에 대해 서술하고 있으며 생태 부문에서는 육상, 담수, 해안, 해양, 생물계절, 종분포 및 개체군의 영향에 대한 적응조치를 다루고 있다. 일본의 생태부문 적응은 타부문의 적응이 생태부문에 부정적인 영향을 미치지 않도록 생태계 기반 접근을 취하여 생물다양성 보전과 생태계서비스에 대한 혜택을 취해야 한다는 개념으로 접근하고 있다. 생태계 보전 및 복원전략(생태계 네트워크를 통한 서식지 보호, 보전지역, 공원계획, 적색목록 고려 및 침입외래종 평가 등)을 통해 기후 영향의 예방조치와 함께 기후변화에 대한 생태계 적응 및 회복력 향상이 필요함을 강조하였다. 또한 기존의 생태계 보전전략 등 관련 계획을 국가 정책에 통합하여 보다 향상되고 주류화된 적응이 필요함을 시사하였다. 생태계와 종의 변화 파악에 있어 모니터링, 연구 및 기술 개발의 중요성도 강조하였다. 기후변화는 불확실하고도 지속적이고 장기적으로 나타나므로 이에 따른 생태계 변화(종의 분포와 군집 변화 등)를 정확하게 파악하고 미래 예측을 통한 적응 조치를 실시하는 것도 중요하지만, 기후변화의 영향을 감지하는 모니터링 시스템 설계 및 실행을 통해 현 시점의 모니터링 결과를 활용의 필요성도 인식하

10) 농업, 산림, 어업(Agriculture, Forest/Forestry, Fisheries), 수환경 및 수자원(Water Environment, Water Resources), 자연생태계(Natural Ecosystems), 자연재해, 해안지역(Natural Disasters, Coastal Areas), 보건(Human Health), 산업 및 경제활동(Industrial and Economic Activity), 시민의 삶, 도시환경 등(Life of Citizenry, Urban Life).

고 있었다. 이에, 위협에 처한 생태계의 실제 위치를 대상으로 하여 취약종 보전을 위한 모니터링을 실시해야 할 뿐 아니라 기후변화에 덜 취약한 안정지역까지 포함하여 미래 변화를 모니터링해야 함을 강조하였다.

일본 환경성 주관 “기후변화 영향 평가 및 적응정책 종합 연구(Comprehensive Research on Climate Change Impact Assessment and Adaptation Policies)”에서 “환경연구 및 기술개발 프로젝트”를 통해 일본 중앙 및 지방정부에 대한 기후변화 영향평가와 적응전략 연구를 수행하였다. 2013년 기후변화의 관측, 전망, 영향 평가에 대한 통합 보고서 작성과 함께 “피할 수 없는 기후변화 영향에 대한 국가 적응 계획(National Adaptation Plan)”이 수립된 이후, 기후변화 영향 및 적응 전략의 평가를 위해 모델링 성능 향상, 기후변화의 영향 및 위해성, 적응 평가 도구(tool) 개발, 기후변화 불확실성 고려와 관련된 연구들이 수행되고 있다.

일본에서는 생태계 영향 연구를 통해 현재까지 관측된 영향을 검토하고 미래의 영향을 전망하였다. 일본에서는 육상생태계에서 여러 생물종의 복상이 예측되나, 동시에 서식지 파편화를 비롯하여 다른 인위적 요소들이 종의 이동을 방해할 가능성이 큰 것으로 전망되었다. 수생태계에서는 호수의 수직 순환이 정체되어 오염이 발생하고 온수성 외래종이 유입되는 등의 복잡한 변화가 예측되었고 해양에서는 산성화로 인해 플랑크톤과 생물 칼슘화 영향이 전망되었다. 일본에서는 이러한 생태계 기후변화 영향에 대해 “생태계의 혜택을 취하는 적응 조치”로서 생태계 기반 접근에 근거한 적응전략을 취하고 있다. 생태계 보전 및 복원과 함께 생태계의 적절한 이용은 적응 및 완화 효과를 달성할 수 있으며 이를 위해서는 관련 환경과학기술 연구의 뒷받침이 필요함을 인식하고, 환경연구 및 기술개발 관련 국가 연구프레임을 구성하였다. 일본의 기후변화 영향의 정량적 평가, 지방정부 레벨에서 영향 평가 및 종합 적응정책에 대한 연구, 아시아-태평양지역의 취약성과 적응 효과의 지표에 대한 연구 등을 수행해오고 있다.

2. 국내 정책 현황

우리나라에서는 17대 정부에서 저탄소 녹색성장 기본법을(2010) 제정한 이후, 해당법 40조에 근거하여 기후변화 적응에 대한 법정 계획을 수립하기 시작하였다. 우리나라에서는 저탄소녹색성장법이 최상위법의 지위에서 ‘기후변화 적응대책’, ‘지속가능한발전계획’, ‘온실가스배출권거래’ 등 적응 및 완화에 대한 다양한 조치의 근거를 제시하여 왔다. 현 19대 정부에서는 해당법의 분법 및 지속가능발전법 개정 추진에 따라, ‘기후변화대응법’, ‘녹색성장촉진법’, ‘온실가스배출권거래법’, ‘지속가능발전기본법’, ‘에너지기본법’으로의 기후변화 대응법제가 논의되고 있다 (Figure 6).

국민의 정부 및 참여 정부에서는 3차에 걸친 “기후변화협약대응 종합대책”을 수립하여 기후변화협약에 대한 국내외적 대응방안으로 기후변화 적응기반 구축을 추진하였다. 17대 정부에서는 2009년부터 녹색성장 관련 계획에서 ‘기후변화 적응 및 에너지 자립’, ‘기후변화에 안전하고 쾌적한 생활기반 구축’을 추진하였다. 2008년 국제사회의 기후변화 대응 노력에 발맞추어 지속가능한 성장을 목표로 범정부 부처 3년 단위 종합대책인 “기후변화대응 종합대책(2008~2012)”이 수립되었으며 여기서 기후변화 영향평가 및 적응프로그램이 마련되기 시작하였다. 이후 “기후변화대응 종합기본계획(2009~2030)”이 수립되었고, 국가차원 적응에 대한 최초의 통합계획인 “국가기후변화 적응 종합계획(2009~2030)”이 마련되었다. 해당 계획에서는 ‘기후변화 영향평가 및 취약성 분석 강화’ 목표가 제시되었다. 저탄소 녹색성장법 제정 이후, 최초의 법정 국가 적응대책인 “국가기후변화 적응 대책(2011~2015)”이 2010년 마련되었고, 5년 단위 연동계획으로 2016년부터 “제2차 국가 기후변화 적응대책(2016~2020)”이 시행되고 있다. 1차 적응대책에서는 ‘생태계 보호, 복원을 통한 생물다양성 확보’를 목표로 생태계와 지표종 모니터링 강화 및 취약성 평가가 요구되었던 반면, 2차에서는 ‘리스크 분석을 바탕으로 과학적인 기후변화 위험관리 체계 마련’과 ‘지속가능한 자연자원 관리에 대

한 적응조치가 실행 중이다.

국가 지속가능발전계획의 측면에서는 저탄소 녹색 성장 기본법 제 50조에 근거하여 “제2차 지속가능발전계획(2011~2012)”이 수립되어 기후변화 적응 및 대응체계 확립이 요구되었다. 이후, SDGs가 핵심적인 글로벌 의제로 부각됨에 따라 제70차 UN총회에

서 17개 목표 및 169개 세부목표로 이루어진 지속가능 발전목표가 채택되었다. 우리나라에서는 “제3차 지속가능발전계획(2016~2035)”을 통해 생물다양성 유지·증진 및 위협요인 저감을 목적으로 생태계의 기후변화 위협요인 평가 및 적응방안 마련이 추진되었다. 특히 기후변화에 의한 생물다양성 및 국가 생

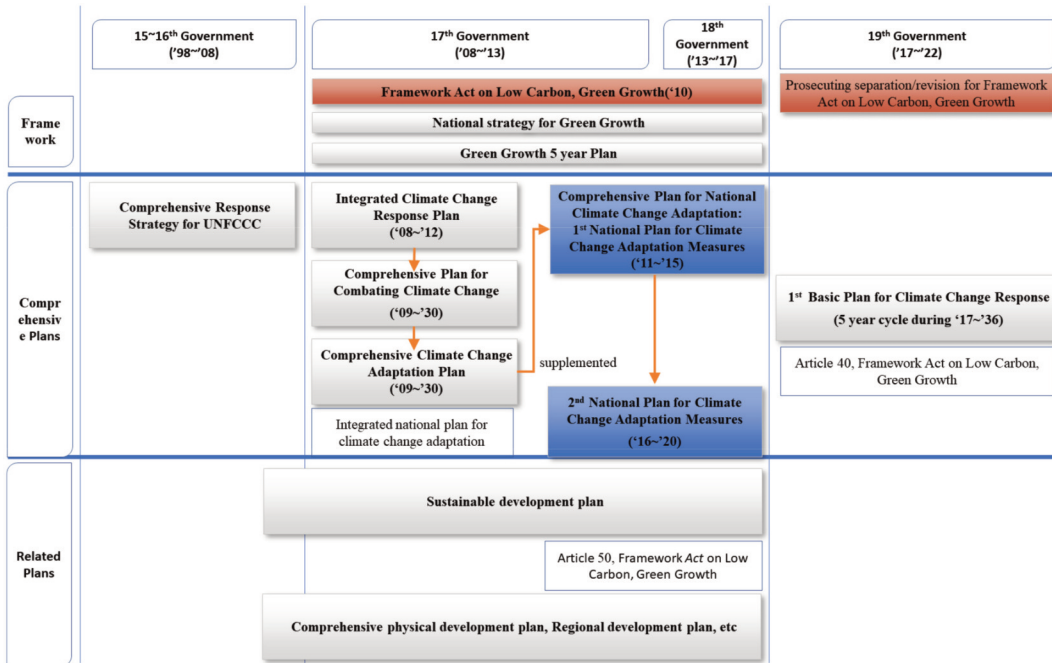


Figure 6. Domestic legal and policy system regarding climate change adaptation strategies in Korea

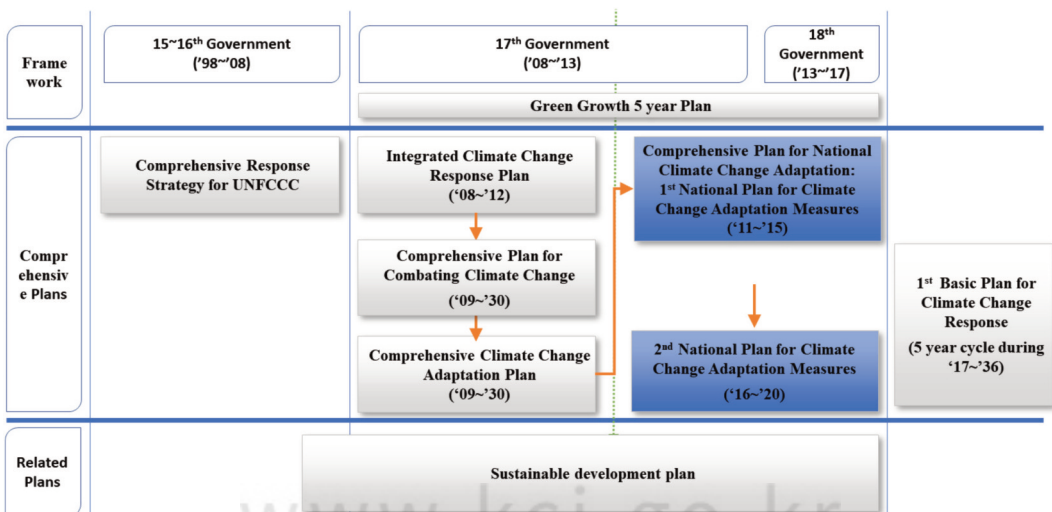


Figure 7. National plans and research regarding ecosystem sector in Korea

태계 전반의 피해 규모 등을 구체적으로 진단할 수 있도록 과학적 평가 체계를 수립·운영하고 '기후변화 리스크 평가'와 국가 생태계 및 생물 다양성 보전전략 수립 지원, 기후변화 취약 종 보전관리, 외래생물 생태계 피해 예방 및 사후 관리 강화에 대한 항목이 제시되는 등 생태부문 적응대책의 내용과 상당부분 맥락을 같이 한다. 국가 생물다양성전략과 관련하여 CBD에 대한 국가차원의 준수로서 국가생물다양성전략이 수립·시행되는 가운데, 우리나라에서는 "기후변화에 적응하는 생물다양성 보전체계 구축"을 목표로 생물다양성 지표(자연보호지역 비율 제고, 국가생물종수 제고, 멸종위기종수 유지 및 감소)달성 노력을 추진해 왔다. 기후변화 민감 생물의 미래 분포변화 다양성 예측, 기후변화에 따른 생태계 변화 예측, 기후생태 변화 연구 등이 국가 기후변화 적응대책, 지속가능한 발전계획, 국가 생물다양성전략 등과 공유되고 있어, 추후 국가 기후변화 적응대책 및 관련 계획들 간 목표와 지표간의 연계성을 고려한 생태부문 적응방안에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다 (Figure 7).

우리나라는 기후변화에 따른 가뭄, 홍수, 폭염 등의 재해와 이에 따른 자원 및 에너지 리스크와 관련 적응대책 연구가 중심으로 이루어져 왔으며, 생태분야 리스크 평가 및 적응대책 관련 근거기반 연구는 부족한 실정이다. 그나마 일부 존재하는 생태분야 관련 연구는 IPCC 제5차 보고서의 리스크 개념이 반영되지 않은 취약성 평가 단계에 머무르고 있으며, 통계모형 혹은 공간모델링 기법을 활용한 미래 변화 예측을 통해 한반도 지역 산림의 취약성 평가 사례가 주를 이룬다. 즉 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 제한적이라 할 수 있다. 이에 우리나라 역시 유럽, 호주, 미국 등의 선진사례로부터 생태부문 리스크 관리 체계에 있어 다양한 관측, 실험, 문헌 연구 등을 통해 과학적

근거기반을 향상시킴으로서 적응을 위한 합리적인 의사결정 지원이 필요할 것이다.

이를 위해서는 무엇보다 장기적인 관점에서 연구 프로젝트가 법적/정책적으로 뒷받침되어야 할 것이다. 또한 국가 적응대책과 맥락을 같이하는 기존의 관련 정책 및 계획(지속가능 발전계획 등)과 함께 국가 생물다양성계획 등 생태부문 관련된 계획들을 통합하고 적응대책 내 주류화 작업을 통해 실질적이고 효율적인 기후변화 적응을 달성할 수 있어야 할 것이다.

IV. 시사점 및 발전 방안

전 세계적으로 기후변화에 따른 부문별 국가적응 대책 수립 등 적응 이행이 촉구되는 시점에서, 국가차원의 생태계부문 적응대책 수립과 더불어 기후변화에 따른 생태계 분야 리스크 평가 및 적응대책을 뒷받침할 수 있는 다양한 연구의 축적과 경험적 지식의 공유는 필수조건이다. 본문에서 분석한 국외 정책기반 분석에 따르면 유럽 등지에서는 이미 1970년대 후반부터 관련 협약에 대한 선제적 대응을 시작하여 국제협약과 EU 회원국 차원의 정책을 연계해왔다. 또한 국제협약과 국내법 및 정책 수립의 연장선상에서 실질적 준수노력에 대한 정책적 도구와 공간 전략들이 보호지역 설정으로 이어져 왔다. 이에 우리나라 역시 생태부문 적응에 있어 국제사회 규범 및 협약에 대한 이행목표의 인지와 함께, 국내법 및 정책을 통해 통합적 이행구조가 마련되어 생태분야 국가 적응대책 및 관련 공간계획에 반영됨이 바람직할 것이다. 국내외 연구기반 분석에 따르면 생태분야 지식기반 구축과 적응연구에 있어 EU 차원에서는 European Climate Adaptation Platform을 통해 적응에 대한 정보와 경험을 공유하고 있다. 호주, 미국, 일본 등의 국가에서도 생태계의 기후영향과 함께 지속가능 발전 정책과 생태계 보전/복원 계획과 연계한 연구들이 꾸준히 축적되어 왔다. 해외 연구사례에서는 영향(impact) 및 취약성(vulnerability) 평가 중심의 과학 근거기반 향상과 관련 정책지원에 관한 결과들이 주를 이루고 있었다. 기후변화 취약성 및 적응과 관련하여 서식지 및 분류군(조류, 어류, 포유류, 무척추

Table 4. Major considerations for adaptation in level of details

Country	Strategy / Plan	Related studies
UK	National Adaptation Strategy (NAP)	UK Climate Impact Programme
Germany	German Strategy for Adaptation to Climate Change Adaptation Action Plan of the German Adaptation Strategy	Climate Change in Regions
Australia	National Climate Change Adaptation Framework National Climate Resilience and Adaptation Strategy	Australian Climate Change Science Programme Impacts of climate change on waterways and navigation
USA	National Climate Assessment	U.S. Climate Change Science Program U.S. Global Change Research Program
Japan	National Plan for Adaptation to the Impacts of Climate Change	Comprehensive Research on Climate Change Impact Assessment and Adaptation Policies
Korea	National plan for Climate Change Adaptation Measures	Integrated Impact and Vulnerability Evaluation of Climate Change

동물, 곤충, 양서파충류 등)과 관련한 문헌은 국내에 비해 상당한 축적사례가 있었다. 우리나라의 경우 생태계 구성요소, 생물종·서식처의 보전 및 관리와 기후적 위협요소에 대한 적응정책을 지향하고 있지만 기후변화에측기기술 뿐 아니라 생태계 영향에 대한 과학적 연구기반의 보완이 필요한 실정이다. 또한 리스크 기반의 지속적 연구결과 축적과 생태계 자체의 내생적 적응능력 규명 혹은 인간의 보전 노력에 대한 적응능력과 관련된 연구 주제 발굴 및 수행이 뒤따라야 할 것이다.

본문에서 분석한 국내의 적응정책 및 연구명칭을 정리하면 다음과 같다.

본문에서 분석한 국외 정책 및 연구기반 사례로부터 우리나라 생태분야 적응 정책 및 연구기반 확립에 벤치마킹해야 할 시사점은 아래와 같다.

- (영국) 리우협약 등 국제협약의 준수를 위한 국내 적응정책 수립과 더불어 생태부문 적응의 명확한 적응 원칙과 목표 제시
- (독일) 국가 생물다양성 전략 및 지속가능한 개발과 연계한 국가적응정책 수립과 환경영향평가 등 제도 연계를 통한 실효성 확보
- (호주) 생태분야 적응 지식 창출 및 교류의 장인

지식공유 포털 운영

- (미국) 국가기후평가 결과의 대국민 공개 및 의견 수렴
- (일본) 생태계 변화 모니터링 기반 구축 및 운영을 위한 정책적 지원

본 논문에서 검토한 적응 정책과 연구에 대한 해외 모범사례의 공통점은 국가 적응정책 수립 시 과학적 근거기반 구축 및 불확실성 저감을 목표로 국가단위에서 기후변화가 생물다양성과 생태계에 미치는 영향 연구를 강조한다는 점이다. 추후 국가 정책 마련 시 기후변화협약과 생물다양성 협약 등 효율적 통합적 준수를 위한 적응체계를 유도하고, 적응의 경제적 가치평가를 통한 정책 반영, 과학적 연구 프로그램 강화 및 기술 개발의 측면을 보강하여 보다 성공적인 국가적응 정책 구조를 정착해 갈 수 있어야 할 것이다. 이에 비추어 생태계 분야 적응방안이 보다 실효성 있게 실행되기 위해서는 우리나라 서식지 및 종의 기후변화 리스크 요소(위해, 노출, 취약성)에 대한 과학적 진단과 분석을 바탕으로 리스크를 평가하고 이에 대한 적응방안을 통합하여 고민하는 노력이 필요할 것이다.

Abbreviation:

ABCS Australia's Biodiversity Conservation Strategy 2010-2030
 AR Assessment Report
 ARP Adaptation Reporting Power
 BAW Bundesanstalt für Wasserbau
 BfG Bundesanstalt für Gewässerkunde

호주 생물다양성 보전전략
 평가보고서
 적응보고제도
 독일연방수로연구원
 독일연방수문학연구소

BfN	Bundesamt für Naturschutz	독일연방자연보전청
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie	독일연방해운수리청
CAF	Cancun Adaptation Framework	칸쿰 적응 프레임워크
CBD	Convention on Biological Diversity	생물다양성협약
CCEWNH	Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats	야생 동물 및 자연 서식지 보존에 관한 협약
CCRA	Climate Change Risk Assessment	기후변화리스크평가
COAG	Council of Australian Governments	호주 연방-주정부협의회
COP	Conference of the Parties	당사국 총회
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel	독일 적응전략
DCCEE	Department of Climate, Change and Energy Efficiency	호주 기후변화·에너지효율부
DWD	Deutscher Wetterdienst	독일기상청
EUBS	EU Biodiversity Strategy	EU 생물다양성전략
GCRA	Global Change Research Act	지구변화연구법
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	기후 변화에 관한 정부간 패널
JNCC	Joint Nature Conservation Committee	영국합동자연보전위원회
KLIMZUG	Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten	지역 기후변화 대비 프로젝트
KLIWAS	Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt	수로 및 선박분야의 기후변화 영향 연구 프로그램
LDCs	Least Developed Countries	세계최저개발국
NAP	National Adaptation Programme	국가적응프로그램
NAPAs	National Adaptation Programmes of Action	국가 적응 행동 프로그램
NBS	National Biodiversity Strategy	국가생물다양성전략
NCA	National Climate Assessment	미국국가기후평가
NCCAF	National Climate Change Adaptation Framework	호주국가기후변화적응체계
NCPA	National Climate Program Act	미국 국가기후프로그램법
NCRAS	National Climate Resilience and Adaptation Strategy	국가 기후회복 및 적응전략
NESP	National Environmental Science Programme	국가환경과학프로그램
NSSD	National Strategy for Sustainable Development	독일의 지속가능한 개발을 위한 국가 전략
NWP	Nairobi Work Programme	나이로비 작업프로그램
PACCSAP	Pacific-Australia Climate Change Science and Adaptation Planning programme	태평양-호주기후변화과학 및 적응계획
PES	Projected Ecological Similarity	생태학적 유사성 전망
RSPB	UK - Royal Society for the Protection of Birds	왕립조류보호학회
SACs	Special Areas of Conservation	특별보전지역
SDGs	Sustainable Development Goals	유엔 지속가능 개발 목표
SPAs	Special Protection Areas	특별보호지역
SSSI	Sites of Special Scientific Interest	과학적특별관심지역(UK 북아일랜드 외 국가)
UNCCD	United Nations Convention to Combat Desertification	사막화방지협약
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	기후변화에 관한 유엔 기본 협약
USAID	U.S. Agency for International Development	미국국제개발처
USGCRP	U.S. Global Change Research Program	미국기후변화연구프로그램

감사의 글

이 논문은 국립생태원 기초연구과제(기후변화에 따른 생태계 변화 및 평가연구)로 수행되었음.

References

Alderman R, Hobday AJ. 2017. Developing a climate adaptation strategy for vulnerable seabirds based on prioritisation of intervention options. *Deep-Sea Res II*. 140: 290-297.

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. *Ecosyst Serv*. 16: 306-318.

CBD [Internet]. Available from: <https://www.cbd.int/>

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. *Sci Total Environ.* 420: 79-89.
- Committee on Approaches to Climate Change Adaptation of Japan. 2010. Approaches to climate change adaptation.
- Committee on Climate Change. 2017. UK climate change risk assessment evidence report.
- Committee on Green Growth. 2009. National strategy of green growth and 5 year plan. [Korean Literature]
- Commonwealth of Australia. 2009. Climate change risks to Australia's Coast-a first pass national assessment.
- Defra(Willows R, Connell R). 2003. Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making. UKCIP.
- Defra. 2012. Climate change risk assessment for the biodiversity and ecosystem services sector.
- Defra. 2017. UK climate change risk assessment: Evidence Report.
- European Climate Adaptation Platform [Internet]. Available from: <http://climate-adapt.eea.europa.eu>
- Federal Environment Agency of Germany. 2015. Germany's vulnerability to climate change.
- Federal Ministry for the Environment of Germany: Nature Conservation and Nuclear Safety. 2009. Combating climate change-the german adaptation strategy.
- Federal Cabinet of Germany. 2011. Adaptation action plan of the German strategy for adaptation to climate change.
- Federal Environment Agency of Germany. 2015. Germany's vulnerability to climate change.
- Feenstra JF, Burton I, Smith JB, Tol RSJ. 1998. Handbook on methods for climate change impact assessment and adaptation strategies. Helping Biodiversity Adapt of Australian AdartNRM [Internet]. Available from: <http://adaptnrm.csiro.au/biodiversity-options/>
- IPCC. Assessment Report 5-Working Group 2. 2014. Phase 1 Report Launch.
- Japan Cabinet. 2015. National plan for adaptation to the impacts of climate change.
- Joint Nature Conservation Committee [Internet]. Available from: <http://jncc.defra.gov.uk/>
- Korea Environment Institute(Yoo and Kim). 2008. Development and application strategy on index of climate change vulnerability assessment. [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]
- Mawdsley JR, O'Malley R, Ojima DS. 2009. A review of climate change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation. *Conserv Biol.*

- 23: 1080-1089.
- Ministry of the Environment in Korea. 2003. Comprehensive plan for combating climate change in environment sector. [Korean Literature]
- Ministry of the Environment in Korea. 2005. The third response plan for climate change convention. [Korean Literature]
- Ministry of the Environment in Korea. 2010. Research on basic plan for national climate change adaptation supported by Framework Act on Low Carbon·Green Growth(2011-2015). [Korean Literature]
- 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]
- Ministry of the Environment of Japan. 2015. Climate change impact assessment and national adaptation planning process in Japan. Government of Japan.
- Ministry of the Environment Government of Japan. 2016. Basic concept of climate change adaptation on biodiversity in Japan. Ministry of the Environment Government of Japan. 2012. The national biodiversity strategy of Japan 2012-2020: Road map towards the establishment of an enriching society in harmony with nature.
- National Institute of Ecology(Yeo et al). 2017. Climate adaptation in Ecosystem sector - Current and future development in adaptation strategy for biodiversity in the advanced countries. [Korean Literature]
- National Environmental Science Programme of Australia [Internet]. Available from: <http://www.environment.gov.au/science/nesp>
- Natural England. 2015. Climate change adaptation manual evidence to support nature conservation in a changing climate.
- Planning Office for Climate Change in Korea. 2002. The second comprehensive response strategy for UNFCCC. [Korean Literature]
- Planning Office for Climate Change in Korea. 2007. The forth climate change response plan. [Korean Literature]
- Planning Office for Climate Change in Korea. 2008. Comprehensive plan for combating climate change. [Korean Literature]
- Presidential commission on sustainable development in Korea. 2006. Strategy on national sustainable development and implication plan. [Korean Literature]
- Relevant government ministries in Korea. 2008. Comprehensive climate change adaptation plan. [Korean Literature]
- Relevant government ministries in Korea. 2010. The first national plan for climate change adaptation measures followed by the implementation of Framework Act on Low Carbon, Green Growth. [Korean Literature]
- Relevant government ministries in Korea. 2014. The second national plan for green growth. [Korean Literature]
- Relevant government ministries in Korea. 2015. The second national plan for climate change adaptation measures 2016-2020. [Korean Literature]
- Relevant government ministries in Korea. 2016. The first basic plan for climate change response 2017-2036. [Korean Literature]
- Relevant government ministries in Korea. 2016. The third plan for sustainable development 2016-2035. [Korean Literature]
- Relevant government ministries in Korea. 2017. Action plan for national biodiversity strategy

2017. [Korean Literature]
- Okey TA, Agbayani S, Alidina HM. 2015. Mapping ecological vulnerability to recent climate change in Canada's Pacific marine ecosystems. *Ocean Coast Manag.* 106: 35-48.
- Samhouri JF, Levin PS. 2012. Linking land- and sea-based activities to risk in coastal ecosystems. *Biol Conserv.* 145: 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. *Environ Model Softw.* 83: 12-26.
- Southern Metropolitan Regional Council of Australian Government. 2009. Climate change risk management and adaptation action plan for the Southern Metropolitan Councils.
- Stelzenmuller V, Ellis JR, Rogers SI. 2010. Towards a spatially explicit risk assessment for marine management: Assessing the vulnerability of fish to aggregate extraction. *Biol Conserv.* 143: 230-238.
- Summit Enterprises International Inc in Canada. 2014. Canadian climate change risk assessment guide: A strategic overview of climate risks and their impact on organizations.
- The Federal Government of Germany. 2008. German strategy for adaptation to climate change.
- UNFCCC. 1997. Kyoto Protocol.
- UNFCCC [Internet]. Available from: <http://unfccc.int>
- United States Agency for International Development. 2015. Integrating climate change adaptation into biodiversity and forestry programming.
- UN SGDs [Internet]. Available from: <http://www.un.org/sustainabledevelopment>
- Watson JEM, Rao M, Ai-Li K, Yan X. 2012. Climate Change Adaptation Planning for Biodiversity Conservation: A Review. *Adv Clim Change Res.* 3: 1-11.
- 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 Ecol Evol.* 32: 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. *Ecol Indic.* 63: 258-272.