

산림부문 기후변화 적응 정보의 실효성 제고를 위한 고찰

박고은*† · 정종빈** · 최원일*** · 김은숙* · 양희문***

*국립산림과학원 산림생태연구과 임업연구사, **국립산림과학원 산림생태연구과 박사연구원,

***국립산림과학원 산림생태연구과 임업연구관

Considerations for enhancing the effectiveness of climate change adaptation information in the forest sector

Park, Go Eun*† · Jung, Jong bin** · Choi, Won Il*** · Kim, Eun-sook* and Yang, Hee Moon***

*Research Scientist, Forest Ecology Division, National Institute of Forest Science, Seoul, Korea

**Doctoral Research Fellow, Forest Ecology Division, National Institute of Forest Science, Seoul, Korea

***Senior Research Scientist, Forest Ecology Division, National Institute of Forest Science, Seoul, Korea

ABSTRACT

Forest is one of the representative territorial ecosystems which contributes to mitigate climate change by absorbing carbon in the air and also is exposed to climate change pressure. Due to forest is under climate change pressure, adaptation is necessary to forest sector to sustain or enhancing forest ecosystem services and contribution to mitigation. Considering long-life span of forest ecosystem, the effects of adaptation measures in the forest emerges in long-term, while the climate change can affect the forest immediately. Therefore, scientific information-based decision making on adaptation is needed to avoid maladaptation. This study aims to examine the conditions for producing information supporting adaptation of Korea's forestry sector and suggest matters to be considered to increase the effectiveness of the information. The duty of the climate change impact assessment and vulnerability in forest sector has been legislated since 2015. And the standardized methodology on investigating and assessing impact in forest sector has been developed. Regarding facilitate the effectiveness of adaptation information, we found challenges as following points; establishment of vulnerability assessment mechanism, integrative impact assessment, strengthen research on monitoring and assessment after adaptation action, establishment of adaptation feedback loops, sustaining developing methodology on investigation and assessment, and the other relevant efforts to enhance quality of impact assessment.

Key words: Climate Changes Adaptation, Impact Assessment, Vulnerability Assessment

1. 서론

산림의 주요 구성요소인 목본을 비롯한 식물은 광합성을 통해 대기 중 이산화탄소를 체내에 탄소로 저장하는 1차 생산자이다. 식물체 내에 고정된 탄소는 산림토양에 저장된다. 이러한 산림은 주요한 탄소흡수원인 동시에 기후변화의 압력을 받는 육상생태계이다. 따라서 우리나라

국토면적의 3분의 2 이상을 차지하고 산림이 기후변화로 인해 받을 수 있는 부정적인 영향과 피해를 저감하거나 예방할 수 있는 적극적인 적응 조치를 취함으로써 이산화탄소 흡수 능력 유지증진을 통한 기후변화 완화에 대한 기여도를 높일 수 있다는 특성을 지니고 있다. 이뿐만 아니라 공급서비스(목재, 약용자원, 산림과수, 버섯, 물 등), 조절서비스(탄소저장, 공기정화, 토사유출방지, 수질

†Corresponding author : goeunpark@korea.kr (Hoegiro 57, Seoul, Korea. Tel. +82-2-961-2613)

ORCID 박고은 0000-0003-4686-2178
정종빈 0000-0001-8497-4424
최원일 0000-0001-8133-9898

김은숙 0000-0001-8949-6783
양희문 0000-0002-6965-4497

정화, 홍수방지, 연안침식 및 풍해방지 등), 문화서비스(휴식, 영감, 교육 등), 지원서비스(광합성, 양료순환, 토양형성, 서식처, 수분 및 종자 산포 등)로 구분되는 산림생태계서비스는 모두 기후변화의 압력에 노출되어있다(Stefanie et al., 2020).

기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC, Intergovernmental Platform on Climate Change)의 제2실무자 그룹이 작성한 제6차 종합보고서에서는 과학적 근거에 기반한 기후적응 조치 이행의 중요성을 강조하고 있다(IPCC, 2023) 기후변화 영향평가 및 취약성 평가 결과는 과학적 근거에 기반한 기후변화 적응 의사결정을 지원할 수 있는 주요한 정보이다(Edwards et al., 2015; Mimura et al., 2015).

영국의 경우 기후변화법(2008년 발효)에 의거하여 매 5년 기후변화 리스크를 평가(CCRA, Climate Change Risk Assessment)하여 결과 보고서를 발간함으로써 공표하고 있다. 2022년에 발간된 제3차 보고서(2012년에 제1차 보고서, 2017년에 제2차 보고서 발간)는 실질적인 적응관리 조치를 위한 의사결정 지원을 고려하여 리스크와 기회의 평가를 보강했다(HA Government, 2022). 캐나다도 2008년 지속가능한 산림관리(SFM, Sustainable Forest Mangement)를 위한 모든 관점에서 기후변화와 미래 기후요인들을 고려해야함을 선언하였다. 그리고 기후변화 리스크를 최소화하는 동시에 이익을 최대화하기 위해 캐나다산림장관회의회(CCFM, Canada Council of Forest Ministers)에서 기후변화 실무자그룹을 조성하고 임업의 기후변화 적응에 대해 지방정부와 협력하여 산림을 관리하고 있다(Edwards et al., 2015). 2008년부터 2010년까지 다양한 수종에 대한 종합적인 평가와 적응을 위한 관리 옵션 도출을 시도한 이후 2011년부터는 산림생태계와 산림분야 전반에 대한 평가를 통해 산림분야 종사자들이 적합한 도구와 최신의 정보를 활용하여 더 나은 의사 결정을 할 수 있도록 지원하는 것을 목표로 취약성 평가를 수행하고 있다(Edwards et al., 2015). 또한 캐나다 천연자원부(Natural Resources Canada, NRC)에서 2021년에 발간한 「국가 기후변화 이슈 보고서」, 「지역별 기후변화 보고서」의 내용을 반영한 적응행동 지도(Map of Adaptation Actions) 서비스를 통해 지역별로 수행되고 있는 사례연구에 대한 정보를 제공하고 있다.

우리나라는 법정계획인 국가기후위기적응대책의 근거가 되는 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」제38조에서 부문별, 지역별 기후위기의 영향과 취약성 평가, 기후위기 적응대책에 관한 사항을 포함하도록 명시하고 있다(제2항). 또한 관계 중앙행정기관의 장은 기후위

기적응대책의 소관사항을 효율적·체계적으로 이행하기 위한 세부시행계획을 수립하여 시행하여야 하고(제4항), 이 대책에 따라 정부는 관계 중앙행정기관, 지방자치단체, 공공기관, 사업자 등이 기후위기에 대한 적응 역량을 강화할 수 있도록 필요한 기술적·행정적·재정적 지원을 할 수 있다(제5항). 결국 국가 차원에서의 효율적·체계적인 기후적응 조치를 하기 위한 의사결정의 첫단추는 위의 법 제38조의 제2항에 따라 산출하는 부문별, 지역별 적응 정보라고 해도 과언이 아니다.

본 연구에서는 우리나라 산림부문의 적응 정보 산출 여건을 살펴보고 적응 정보의 실효성을 높이기 위해 고려해야 할 사항을 제시하고자 한다.

2. 산림부문 적응 정보 산출 여건

2.1. 산림부문 적응 정보 수요자

산림부문 기후변화 적응 정보의 수요자는 기후변화 적응과 관련한 의사결정자로 가늠할 수 있다(Siders and Pierce, 2021). 우리나라의 산림은 소유의 구분이 뚜렷하다는 특징이 있다. 소유 유형에 따라 국유림, 공유림, 사유림으로 구분되며 소유의 주체가 산림의 직접적인 관리 계획 수립과 이행의 책무를 지닌다. 2020년 기준, 산림청을 비롯한 중앙행정기관이 소유한 국유림은 전체 산림면적의 약 26.2% (1,652,736 ha)를 차지하고 있고, 지방자치단체(도, 시, 군, 구 등)가 소유한 공유림은 7.7% (493,202 ha)를 차지하며 민간 소유의 사유림은 66.1% (4,162,196 ha)로 가장 많은 면적 비율을 차지하고 있다(Korea Forest Service, 2020). 우리나라 산림의 장기적인 관리 계획의 기본 방향을 제시해주는 것은 산림청이 산림기본법 제11조 및 같은 법 시행령 제4조~제6조에 의거하여 수립하는 산림기본계획이다. 제6차 산림기본계획(2018~2037년)은 향후 20년간의 산림정책의 비전과 장기전략을 제시하는 법정계획으로 지역산림계획 및 산림경영계획 수립의 기준이 되며 국가의 산림정책의 방향은 사유림에도 영향을 미친다. 이에 근거한 시행계획을 수립하고 이행하는 과정에서 신뢰 가능한 데이터 및 과학적 분석기술에 근거한 전국 산림의 기후변화 영향과 취약성 평가 정보는 기후변화 적응 주류화에 필수적이다(Sung et al., 2022). 산림 현장의 관리자(산주, 임업인 및 농업인, 관리소 담당자 등)는 물론이고 해당 정책의 예산 및 연계된 정책에 관여하는 부처, 지방자치단체, 국회의 담당관도 산림의 기후변화 적응 정보의

자치단체, 국회의 담당관도 산림의 기후변화 적응 정보의 수요자에 속한다. 관련 기술 개발자(연구기관, 대학 등)뿐만 아니라 일반시민과 언론 등도 기후변화 적응 지식의 창출 주체로서 관련 정보의 수요자에 포함된다.

2.2. 제도적 기반

산림부문의 경우, 2015년, 「농업·농촌 및 식품산업기본법」제47조의2 및 같은 법 시행령의 신설로 임업분야의 기후변화 영향과 취약성을 평가하는 의무가 법제화 된 것을 계기로 적응 정보 산출의 구체적 제도적 기반을 갖추게 되었다. 신설된 법의 주요 내용은 매년 기후변화 영향 실태를 조사하고 기후변화 영향과 취약성을 5년마다 평가하여 공표함으로써 기후변화 적응 의사결정을 지원하는 과학적인 정보를 산출하는 것이다. 같은 법 시행규칙에서는 임업분야에 대한 기후변화 영향·취약성 평가의 의무를 산림청장에게 위임하였고, 산림청에서는 이를 국립산림과학원장에게 이를 재위임하였다(산림청고시 제2017-14호). 또한 2019년 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」 제51조의5를 신설함으로써 산림부문의 기후변화 영향평가의 법적 기반을 강화하였다.

2.3. 기술적 여건

산림의 기후변화 영향 평가, 즉 기후변화가 산림의 상태에 변화를 일으키는 영향의 정도와 미래에 도래할 변화를 예측하는 연구는 1990년대부터 추진되어왔다(Lim et al., 2006). 그러나 생애주기가 긴 산림에 영향을 미치는 기후 동인을 구명하고 기후변화에 따른 변화를 분석 및 전망하기 위해서는 데이터 품질의 편차를 줄이고, 일관성 있는 방법으로 장기간 데이터를 축적하는 것이 필수적이다. 또한 환경부가 범분야 전문가와 함께 VESTA, MOTIVE 등의 프로젝트를 통해 산림부문의 영향, 취약성평가 등의 결과를 산출한 바 있으나, 우리나라 산림의 복잡하고 험준한 지형적 특성, 산림 내 다양한 세부분야, 이해관계자, 관리목표 등의 요소를 충분히 반영하지 못하고 있다는 한계가 있다. 이에 국립산림과학원은 국립수목원과 함께 전국 단위에서 임업·산림분야의 영향을 체계적으로 평가하기 위한 조사 및 평가 방법론을 정립하였다(Fig. 1).대내외 부문별 전문가가 평가 대상이 되는 17개 세부분야를 Table 1과 같이 식별하였고, 각 세부분야별 조사 및 평가의 범주를 규정하였다. 또한 이에 활용할 수 있는 실태조사 자료 현황을 진단하고 부족한 부분에 대한 보강을 고려하여 영향실태 조사 및 평가 지침을 개발하였다(Lim et

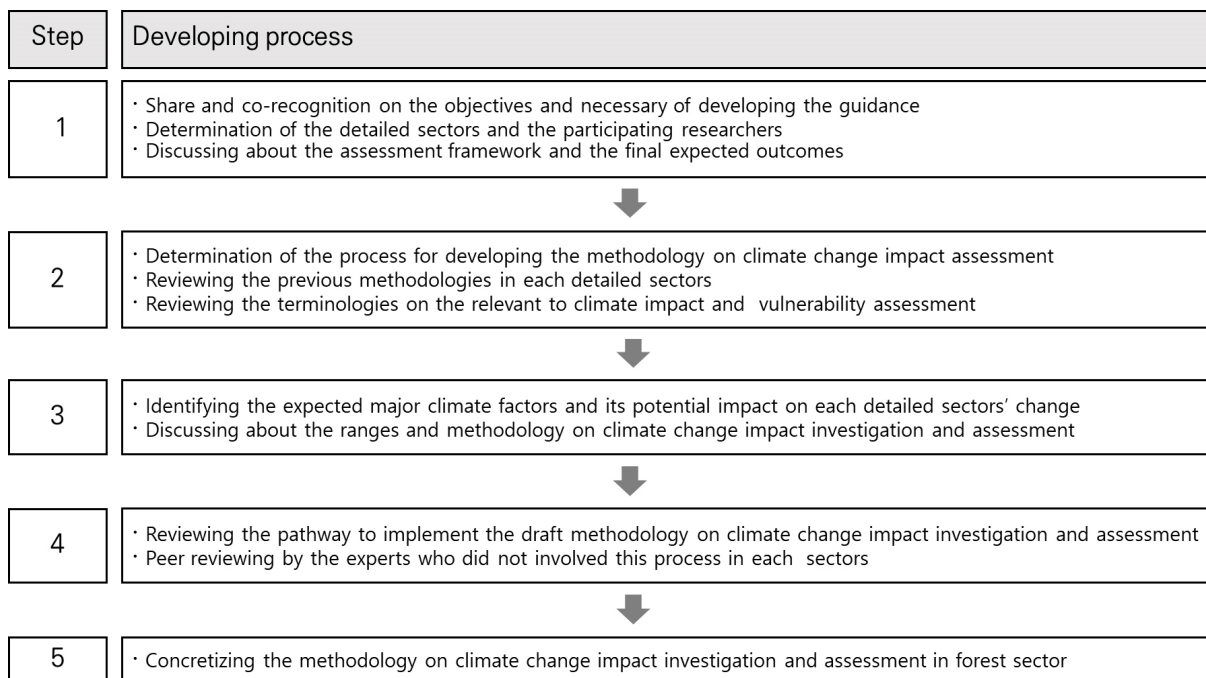


Fig. 1. The process to develop the guidance on the investigation and assessment of climate change impact in forest sector (revise from Lim et al., 2017)

Table 1. The detailed-sectors of climate change impact assessment in the forest sector (rearranged from Lim et al., 2017)

Classification	Detailed-sectors
Forest meteorology	Extreme climate events in the forest
Forest resources	Forest biomass resources and seed production
Forest ecosystem	Climate-vulnerable forest ecosystem
	Forest productivity
	Forest hydrology
	Forest phenology
Non-timber products	Mushrooms
	Forest fruit trees
	Forest medicinal resources
	Tree sap
Forest disturbances	Forest fire
	Landslides in forest
	Forest insects and diseases
Forest biodiversity	Forest plants
	Forest insects
	Forest wildlife
	Invasive species

Table 2. Three components of climate change impact assessment in forest sector

Step	Components
I	Identifying major climate factor
II	Analysis of the changes affected by climate factor
III	Projection of the changes on climate change

al., 2017). 2018년 「임업·산림분야 기후변화 영향실태 시범보고서」를 발간한 이후 제도적 여건의 변화(산림자원법 내 조항 신설)와 조사 및 분석 기술의 변화를 반영하여 2021년, 지침을 개정하였다(Lim et al., 2021).

임업·산림부문의 기후변화 영향과 취약성 평가 체계는 Fig. 2와 같다. 여기서 기후변화 영향평가는 Table 2와 같이 세 단계로 구분하여 접근하고 있다. 제1단계는 평가 대상의 변화에 영향을 미치는 주요 기후인자를 구명하는 것이다. 현장에서 관측한 자료나 실내의 실험결과를 분석하여 변화에 영향을 미치는 기후인자와 인계치를 밝히는 것이 이 단계에 속한다. 제2단계는 구명된 기후인자로 인해 과거 대비 현재 변화된 정도를 분석하는 것이다. 제3단계는 기후변화 시나리오에 따른 대상의 변화를 전망하는 것이다. 17개 산림부문의 기후변화 영향평가는 세부분야별 평가에 활용할 수 있는 실태조사 자료의 축적 및 기작구

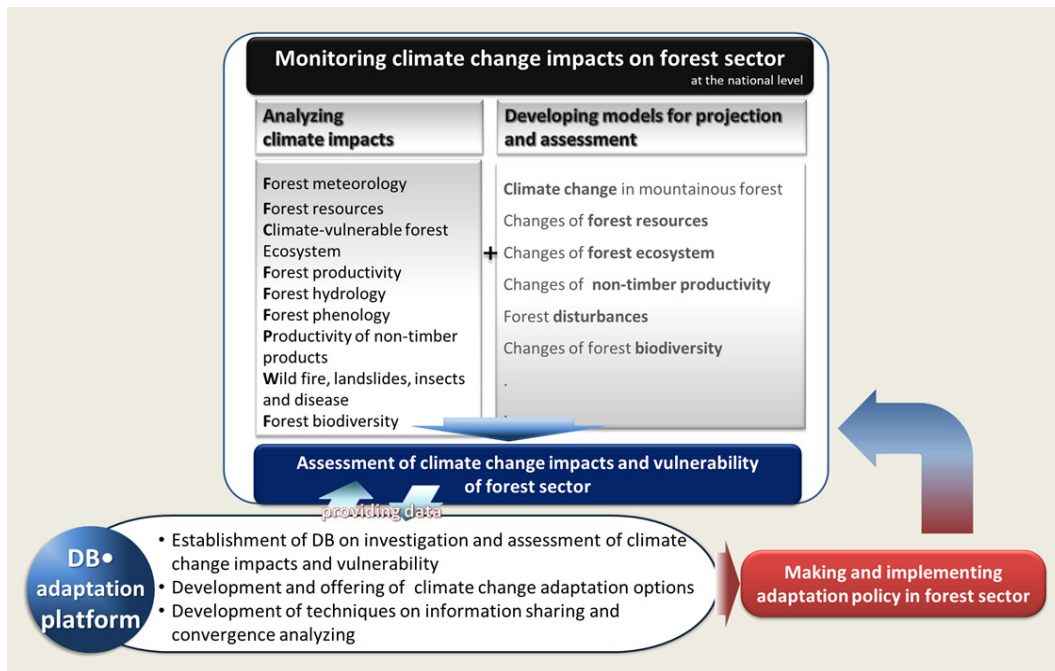


Fig. 2. Frameworks for assessment of climate change impacts and vulnerability in forest sector

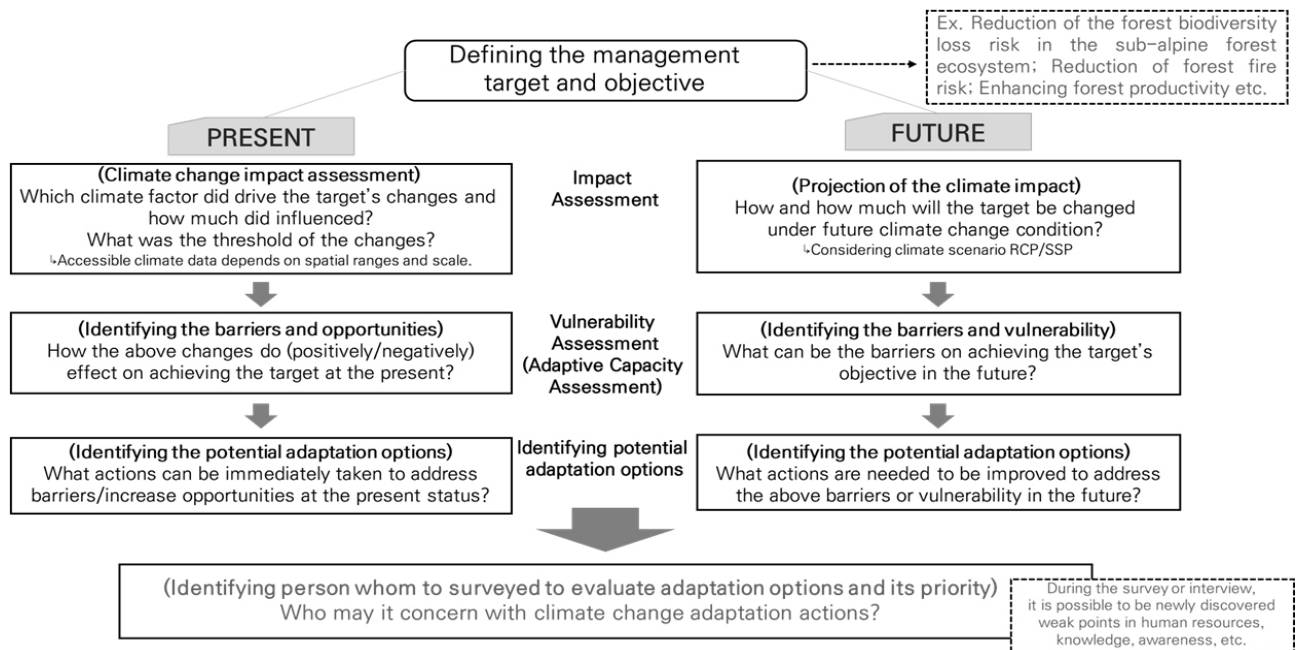


Fig. 3. Framework on the climate change vulnerability assessment

명의 정도, 모델 개발의 수준에 따라 진척수준이 상이하 다. 이에 기후변화 취약성은 평가의 체계를 정립해가는 단계에 있다. 취약성은 예상되는 부정적인 영향에서 이를 저감하거나 예방할 수 있는 적응 능력을 차감함으로써 평가할 수 있는 것으로, 기후변화 영향에 대한 정보산출이 반드시 선행되어야하기 때문이다.

3. 고찰 및 제언

기후위기에 대한 산림부문의 적응 조치 의사결정을 지원하기 위한 적응 정보의 실효성을 높이기 위한 도전과제는 다음과 같다.

3.1. 취약성 평가 정보 산출 체계 정립

산림의 부문별 관리목표를 고려한 취약성 평가 정보 산출 체계의 정립이 필요하다(Dymond et al., 2020; Edwards et al., 2015; Williamson and Nelson, 2017). 기후변화 취약성은 시스템이 기후 변동성 및 극한 현상을 포함하는 기후 변화의 부정적 영향에 취약하여 대처할 수 없는 정도를 의미한다(Parry et al., 2007). IPCC (2023)에서는 인간이 일으킨 기후변화가 인간과 자연에 미친 영향과 취약성 수준, 미래에 예상되는 위기(리스크)에 대한 과학적 근거를 지역

별·부문별로 제시하고 있다. 또한 이를 고려한 손실과 피해를 예방하거나 줄이기 위한 적응이 중요함을 강조하고 있다. 산림부문에서 적응을 위해서는 기후변화에 따른 부정적 영향을 저감하거나 예방할 수 있는 적응능력을 제고해야한다. 적응능력은 기후변화에 대한 인식, 지식자원(과학, 정보, 지식교류, 현장관리기술 등), 인적자원(이해도, 전문성 등), 사회적 자원(문제해결, 정보접근, 통합적 조치 등에 기여할 수 있는 파트너십과 네트워크 등), 조직 및 제도적 기반 등이 속한다(Edwards et al., 2015; Parry et al., 2007; Williamson et al., 2012). 기후변화의 영향이 긍정적인지 부정적인지에 대한 판단은 대상의 관리 목표가 무엇 이냐에 따라 달라질 수 있다. 따라서 Fig. 3에 제시한 산림 부문의 기후변화 취약성 평가의 과정은 평가 대상의 관리 목표를 식별하는 것으로부터 시작한다. 현실점에서 대상에 영향을 미치는 기후요인과 임계점 및 영향을 받고 있는 정도를 파악하고, 미래 기후에 받게될 영향을 평가한다. 그리고 이러한 변화가 현재와 미래에 각각 관리 목표 달성에 영향을 미치는 장애요인과 기회요인을 식별하는 취약성 평가 단계에서 적응능력에 대한 평가가 이루어진다. 앞서 식별한 장애요인을 해결하거나 기회요인을 증진시키기 위해 즉시 취할 수 있는 조치와 장치 보완해야할 사항을 파악함으로써 잠재적인 적응 조치안을 도출하게 된다. 그리고 각각의 적응 조치안에 관여하는 주체를 식별하여 조

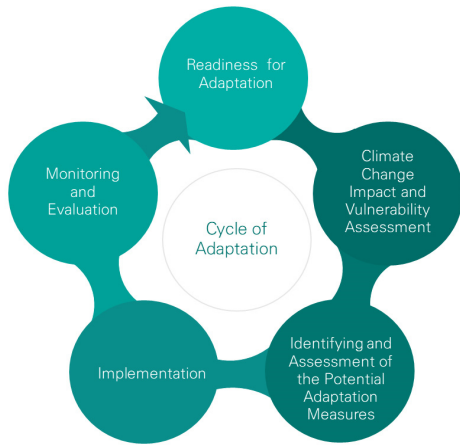


Fig. 4. Cycle of adaptation (revised from Edwards et al., 2015)

치안에 대한 설문과 논의를 통해 적응 조치의 우선순위를 도출할 수 있게 되며 이 때 인적자원, 지식 및 인식 등에 대한 취약지점을 추가 발굴하게 될 가능성도 있다. 이러한 취약성 평가의 전과정에서 파악하게 되는 적응 능력 진단 결과와 잠재적 적응 조치의 주체 식별 결과 등은 산림부문의 기후변화 적응 의사결정을 효과적으로 지원할 수 있는 주요한 정보라 할 수 있다.

3.2. 상호 연계성을 고려한 통합적 영향평가

임업·산림부문의 세부분야간 연계성을 고려한 영향평가 기술의 개발이 필요하다. 가령 기후변화로 인해 산불, 산사태, 산림병해충과 같은 산림교란의 발생 빈도와 강도가 높아지는 것은 산림생태계의 건강성과 산림생물다양성의 저하와도 직접적인 관련이 있으며, 식물계절의 변화는 산림생산성, 산림자원, 산림생물다양성의 변화와도 관련이 있다. 이러한 연계성을 고려한 영향평가의 결과는 산림부문의 오적응(maladaptation)을 회피하는 데에 기여할 수 있다(Magnan et al., 2016). 또한 기후변화 외에도 대상의 변화에 미치는 요인을 파악하여 평가에 반영함으로써 정보의 실효성을 제고할 수 있으리라 본다(Shi and Moser, 2021).

3.3. 적응 조치의 효과성 모니터링, 평가 연구 강화 및 선순환 체계 정립

산림의 일부 분야에서는 기후변화 영향·취약성 평가의

법적 근거와 평가를 위한 실태조사 지침이 마련되기 전에도 기후변화로 심각해지는 피해를 예방하거나 저감하기 위한 조치, 즉, 적응에 해당하는 조치를 취해온 바 있다. 대형산불예보, 산불위험지역 내 방화선 구축 등이 일례이다. 이외에도 산림생태계 관리와 임산물 재배·수확 등과 관련하여 구체적인 산림 현장의 기후변화 적응 관리에 대한 수요를 충족시키기 위해서는 여러 잠재적 적응 조치의 효과성을 검증하기 위한 실연연구를 강화할 필요가 있다. 가령 기후변화로 인한 쇠퇴의 압력에 노출되어있는 아고산 상록침엽수림의 현지내 보전을 위한 관리도 기후변화 적응 조치로 구분할 수 있는데, 기존에 알려진 잠재적인 적용가능한 관리 기법들이 실제 관리 목표(현지내 보전) 달성에 효과가 있는지의 여부는 조치의 효과를 모니터링하고 평가함으로써 확인할 수 있다. 적응의 시급성을 고려할 때에 현지식 수준에서 최선의 조치를 선정하되, 조치 이후의 모니터링과 평가 정보를 축적하는 것이 필요하다. Fig. 4와 같이 효과성 검증 정보가 기후변화 영향·취약성 평가에 환류되는 선순환 체계를 확립함으로써 향후 더 나은 적응 조치를 발굴, 이행할 수 있도록 해야할 것이다 (Edwards et al., 2015; Williamson and Nelson, 2017).

3.4. 지침의 지속적인 개선

현재 지침에 수록된 기후변화 영향 실태조사 대상 및 조사방법은 현재의 기술 수준을 반영하고 있다. 따라서 추후 기술의 발전과 연구 및 정책적 수요에 의해 보완될 가능성을 열어두고 지속적인 갱신이 필요하다. 단, 필요에 따른 지침의 갱신은 조사 자료 간의 연결성 및 평가의 일관성 유지를 고려하여야 할 것이다.

4. 결론

우리나라 산림부문의 기후변화 영향 및 취약성평가의 법제화에 발맞추어 전국 단위의 영향 실태조사 및 평가 지침을 마련하는 등 기술적인 시도를 하였다. 그러나 기후위기에 대한 산림부문의 적응 조치 의사결정을 보다 구체적으로 지원하기 위해서는 산출하는 정보의 내용 개선을 위한 꾸준한 노력이 필요하다. 적응 조치의 대상이 되는 산림의 관리목표를 고려한 취약성 평가 체계를 확립하고, 세부분야간 연계성 및 기후변화 이외의 요인을 고려한 통합적인 평가 기술을 고도화하고, 적응 조치에 대한 효과성 모니터링 및 평가 결과 환류의 선순환 체계를 정

립해나가는 것이 필요하다. 또한 변해가는 기술 및 정책의 수요를 고려한 평가 항목의 검토를 지속할 필요가 있다. 마지막으로 기후변화 영향평가 정보의 품질 향상을 위해 세부분야별 실태조사 자료가 장기적으로 축적되고 영향분석을 지속할 수 있는 기반이 확보되어야 한다.

사사

본 논문은 국립산림과학원(FE0100-2023-02-2023)의 지원을 받았습니다.

References

- Dymond CC, Giles-Hansen K, Asnate P. 2020. The forest mitigation-adaptation nexus: Economic benefits of novel planting regimes. *For Policy Econ* 113: 102124.
- Edwards JE, Pearce C, Ogden AE, Williamson TB. 2015. Climate change and sustainable forest management in Canada: A guidebook for assessing vulnerability and mainstreaming adaptation into decision making. Ottawa, Canada: Canadian Council of Forest Ministers.
- HM Government. 2022. UK Climate Change Risk Assessment 2022. Defra, London. <https://www.gov.uk/government/publications/uk-climate-change-risk-assessment-2022>. Accessed 29 Dec 2022.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2023. Summary for policymakers. In: Pörtner HO, Roberts DC, Poloczanska ES, Mintenbeck K, Tignor M, Alegría A, Craig M, Langsdorf S, Löschke S, Möller V, Okem A (eds). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. p. 3-33. doi: 10.1017/9781009325844.001
- Korea Forest Service. 2020. Statistical yearbook of forestry. Daejeon, Korea: Korea Forest Service.
- Lim JH, Shin JH, Lee DK, Seo SJ. 2006. Climate change impacts on forest ecosystems: Research status and challenges in Korea. *Korean Soc Agric For Meteorol* 8(3): 199-207 (in Korean with English abstract).
- Lim JH, Park GE, Won MS, Kim ES, Jang KC, Yang HM, Kim SH, Chun JH, Park CY, Choi HT, Yoo R, Jang YS, Lee W, Kim CW, Park YK, Yoon JH, Lee KT, Park YM, Um Y, Lee BD, Lee CW, Kwon TS, Choi WI, Nam YW, Kim IS, Jung JM, Koo JJ. 2017. *Guideline on the investigation and assessment of climate change impact in forest sector*. Seoul, Korea: National Institute of Forest Science.
- Lim JH, Park GE, Jang KC, Kim ES, Koo JJ, Jung SC, Park CY, Choi HT, Jang YS, Lee W, Kim CW, Lee KT, Sohn HJ, Um Y, Lim SY, Seo JP, Jung JK, Nam YW, Lee BR, Sohn SW, Kim DG, Sohn DC. 2021. *Guideline on the investigation and assessment of climate change impact in forest sector*. Seoul, Korea: National Institute of Forest Science.
- Magnan AK, Schipper ELF, Burkett M, Bharwani S, Burton I, Eriksen S, Gemenne F, Schaar J, Ziervogel G. 2016. Addressing the risk of maladaptation to climate change. *Wiley Interdiscip Rev Clim Change* 7(5): 646-665. doi: 10.1002/wcc.409
- Mimura N, Pulwarty RS, Duc DM, Elshinnawy I, Redsteer MH, Huang HQ, Nkem JN, Rodriguez RAS, Moss R, Vergara W, Darby LS, Kato S. 2015. Adaptation planning and implementation. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds). *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects: Contribution of working group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. p. 869-898. doi: 10.1017/CBO9781107415379.020
- Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE. 2007. *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- Shi L, Moser S. 2021. Transformative climate adaptation in the United States: Trends and prospects. *Science* 372(6549): eabc8054. doi: 10.1126/science.abc8054
- Siders AR, Pierce AL. 2021. Deciding how to make climate change adaptation decisions. *Curr Opin Environ Sustain* 52: 1-8. doi: 10.1016/j.cosust.2021.03.017
- Stefanie H, Frank T, Sahra A, Sarah A, Emmanuel C, Ursula G, Juliane H, Tanja K, Benjamin L, Claudia K. 2020. Earth observation based monitoring of forests in Germany: A review. *Remote Sens* 12(21): 3570. doi: 10.3390/rs12213570
- Sung JH, Lim JH, Lee SJ, Jung SH. 2022. Policy tasks for climate change adaptation mainstreaming. Naju, Korea: Korea Rural Economic Institute. Research Report R928.
- Williamson TB, Campagnaand MA, Ogden AE. 2012. Adapting sustainable forest management to climate change: A framework for assessing vulnerability and mainstreaming adaptation into decision making. Ottawa, Canada: Canadian Council of Forest Ministers.
- Williamson TB, Nelson HW. 2017. Barriers to enhanced and integrated climate change adaptation and mitigation in Canadian forest management. *Can J For Res* 47(12): 1567-1576.