

온실가스 감축 - 기후변화 적응 연계전략 수립

황인창 · 김대수



❖ 연구진

연구책임자 황인창 (한국환경정책·평가연구원 부연구위원)
참여연구원 김대수 (한국환경정책·평가연구원 연구원)

❖ 연구자문위원 (가나다 순)

강성훈 (한국조세재정연구원 부연구위원)
김영환 (국립산림과학원 연구위원)
문진영 (대외경제정책연구원 부연구위원)
유종민 (홍익대학교 경제학과 교수)
유준혁 (EY 한영회계법인 이사)
이상엽 (한국환경정책·평가연구원 연구위원)
장은경 (건국대학교 연구원)
하종식 (한국환경정책·평가연구원 연구위원)

© 2016 한국환경정책·평가연구원

발행인 박 광 국
발행처 한국환경정책·평가연구원
 (30147) 세종특별자치시 시청대로 370
 세종국책연구단지 과학·인프라동
 전화 044-415-7777 팩스 044-415-7799
 http://www.kei.re.kr
인 쇄 2016년 12월 26일
발 행 2016년 12월 31일
등 록 제17-254호 (1998년 1월 30일)
ISBN 979-11-5980-079-5 93530

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처를 표시해 주십시오.
황인창, 김대수(2016), 「온실가스 감축-기후변화 적응 연계전략 수립」, 한국환경정책·평가연구원.

값 7,000원

서언

IPCC 제5차 평가보고서와 파리협정 이후 국제적으로 기후변화 대응의 중요성이 점차 더 강조되고 있습니다. 그동안 배출된 온실가스로 인하여 전 세계 곳곳에서 기후변화에 의한 피해가 발생하고 있으며 향후 기후변화로 인한 피해는 더 커질 것으로 전망되기 때문입니다.

기후변화 대응은 온실가스 감축과 기후변화 적응이라는 두 가지 축으로 구성되어 있습니다. 그러나 아직까지 국내외적으로 기후변화 정책이 온실가스 감축을 중심으로 진행되어 온 것이 사실입니다. 이러한 상황에서 이번 연구에서는 온실가스 감축과 기후변화 적응이라는 두 가지 기후변화 대응 축을 연계하는 전략을 제시했습니다. 국내외에서 이렇듯 종합적인 전략을 제시한 사례가 없었다는 점에서 이번 연구의 가치가 있다고 할 수 있습니다. 이번 연구에서 제시한 전략이 우리나라의 기후변화 대응 전략을 수립하고 기후변화 대응 사업을 수행해 나가는 데 있어서 중요한 자료로 쓰이기를 기대합니다.

마지막으로 이 연구를 성실히 수행한 한국환경정책·평가연구원 황인창 박사와 김대수 연구원에게 감사를 표합니다. 아울러 바쁘신 와중에도 자문과 조언을 통해 연구에 도움을 주신 한국조세재정연구원 강성훈 박사, 국립산림과학원 김영환 박사, 대외경제정책연구원 문진영 박사, 홍익대학교 유종민 교수, EY 한영회계법인 유준혁 이사, 건국대학교 장은경 연구원, 한국환경정책·평가연구원 이상엽박사, 하종식 박사 그리고 익명의 감수위원에게도 고마움을 전합니다.

2016년 12월

한국환경정책·평가연구원

원장 박 광 국

국문요약

기후변화 대응 정책의 두 가지 큰 방향은 온실가스 감축과 기후변화 적응이다. 최근 이론적인 연구에서뿐만 아니라 국제기구의 보고서에서도 감축-적응 연계의 중요성이 강조되고 있다. 그러나 아직까지 국내에서는 감축-적응 연계의 중요성을 선언적 수준에서 언급하는 정도이며, 종합적이고 구체적인 전략을 수립한 바는 없다. 국제적으로도 국가 단위 또는 지역 단위에서 감축과 적응을 종합적으로 연계하기 위한 전략을 수립한 곳은 드물다.

이에 이 연구는 온실가스 감축-기후변화 적응 연계전략 수립을 목적으로 한다. 먼저 감축과 적응의 특징을 분석하고 서로의 연계 가능성을 검토하였으며, 연계에 따른 효과를 제시하였다. 감축-적응 연계전략은 사회적 기반, 제도적 측면, 사업적 측면 등으로 구분하여 제시하였다. 사회적 기반에서는 기후변화 관련 지식과 기술유형을 분류하고 유형별 특징을 검토하였으며, 온실가스 감축과 기후변화 적응을 효과적으로 달성할 수 있는 기술별 활용방안을 제시하였다. 또한 이해당사자의 참여방안을 제시하였다. 제도적 측면에서는 기후변화 관련 법정 계획에서 감축-적응 연계를 반영할 것과 사업의 영향평가 및 타당성 평가 시 감축-적응의 공편익을 분석할 것을 제시하였다. 또한 재정적 측면에서의 감축-적응 연계로서 기후변화 적응을 포괄하는 기후변화 기금의 설립 및 활용방안, 기금의 운영과 사업의 집행을 담당할 기구의 설립 등을 제시하였다. 사업적 측면에서는 감축이 중심이 되는 분야(에너지, 수송, 산업, 폐기물 등), 적응이 중심이 되는 분야(수자원, 보건, 연안 및 저지대 등), 감축-적응 연계가 용이한 분야(농업, 산림 등)를 구분하고 분야별로 연계 방안을 제시하였다. 또한 전통지식 활용, 기후변화 법정계획 연계, 산림탄소상쇄제도 활성화 등 세 가지 분야에 대해서는 연계를 위한 구체적인 분석 결과도 제시하였다. 마지막으로 위와 같은 감축-적응 연계 전략을 실제로 실행하는 단계에서는 감축-적응 연계의 효과를 정량화할 수 있는 분석도구가 필요한데, 이번 연구에서는 이를 위한 연계모형 개발전략도 제시하였다.

이번 연구는 감축-적응 연계전략을 제시하는 종합 연구라는 점에서 세부 분야별 연계 방안을 상세히 다루지는 못했다. 전통지식, 법정 계획, 산림 등 세 가지 분야에 대해서는 세부적인 수준에서 분석을 수행했지만, 추후에는 세부 분야별로 보다 구체적인 방안을 수립할 필요가

있다. 또한 감축-적응 연계효과를 산정하고 모니터링 할 수 있는 방법(평가 틀 또는 모형)도 개발해야 할 것이다.

주제어: 온실가스 감축, 기후변화 적응, 감축-적응 연계, 공편익, 연계 모형

❖ 차례 ❖

| | |
|-----------------------------|-----|
| 제1장 서론 | 1 |
| 1. 연구 배경 | 1 |
| 2. 연구 필요성 및 목적 | 5 |
| 제2장 감축-적응 연계 논의 | 9 |
| 1. 기후변화 정책방향 변화 | 9 |
| 2. 감축-적응의 특징 | 10 |
| 3. 감축-적응 연계 가능성 및 필요성 | 24 |
| 제3장 감축-적응 연계전략 | 29 |
| 1. 개요 | 29 |
| 2. 사회적 기반 | 30 |
| 3. 제도적 측면 | 34 |
| 4. 사업적 측면 | 39 |
| 제4장 부문별 세부전략 | 48 |
| 1. 국내 기후변화 대응정책 연계 | 48 |
| 2. 산림탄소상쇄사업 활성화 방안 | 66 |
| 3. 전통지식 활용 방안 | 79 |
| 제5장 감축-적응 연계 모형 개발 전략 | 93 |
| 1. 개요 | 93 |
| 2. 기존 모형 비교분석 | 94 |
| 3. 모형 개발 고려요소 | 105 |

| | |
|----------------------------|-----|
| 4. 기존 모형과의 연계 가능성 검토 | 108 |
| 5. 국내 모형 개발 전략 | 110 |
| 제6장 결론 | 112 |
| 참고문헌 | 115 |
| Abstract | 127 |

❖ 표 차례 ❖

| | |
|---|-----|
| 〈표 1-2〉 선행연구 검토 | 7 |
| 〈표 2-1〉 감축과 적응 비교 | 25 |
| 〈표 3-1〉 기후변화 적응 기술유형 | 30 |
| 〈표 3-2〉 캐나다 앨버타 주 CCEMF 기금 활용 사례 | 37 |
| 〈표 4-1〉 감축-적응 연계와 공편익의 관계 | 50 |
| 〈표 4-2〉 온실가스 감축-기후변화 적응 연계유형 | 51 |
| 〈표 4-3〉 2020 로드맵 부문별 감축 목표 및 주요 감축 수단 | 55 |
| 〈표 4-4〉 제2차 국가기후변화 적응대책 체계 및 부문별 추진과제 수 | 56 |
| 〈표 4-5〉 2020 로드맵과 2차 적응대책 간 주요 차이점 | 57 |
| 〈표 4-6〉 2020 로드맵과 2차 적응대책의 부문 연계 | 59 |
| 〈표 4-7〉 M+유형(감축에 적응요소 고려) 연계결과 | 61 |
| 〈표 4-8〉 A+유형(적응에 감축요소 고려) 연계결과 | 62 |
| 〈표 4-9〉 L유형(감축-적응 연결) 연계결과 | 64 |
| 〈표 4-10〉 S유형(감축, 적응 동시 고려) 연계결과 | 65 |
| 〈표 4-11〉 산림서비스의 공편익 추정결과 | 68 |
| 〈표 4-12〉 산림탄소상쇄사업의 공편익(유형별로 공편익이 있다고 응답한 사업 개수) | 69 |
| 〈표 4-13〉 공편익 관련 응답 사업의 특징별 분석결과 | 69 |
| 〈표 4-14〉 공편익 인증기준별 연혁 및 특징 | 72 |
| 〈표 4-15〉 연도별 VCS 및 VCS+CCB 평균 거래가격 | 73 |
| 〈표 4-16〉 한국형 산림경영인증기준과 해외 산림분야 공편익 기준 | 75 |
| 〈표 4-17〉 탄소흡수원 지수 세부기준별 지표 및 산출방법 | 76 |
| 〈표 4-18〉 불확실성에 따른 최적 탄소세(2015년, US\$/tCO ₂) | 84 |
| 〈표 5-1〉 기후경제통합-지역평가모형 정책수단 | 95 |
| 〈표 5-2〉 기후변화 적응 경제모형 | 96 |
| 〈표 5-3〉 CLIR모형 적응경로 예 | 100 |

❖ 그림 차례 ❖

| | |
|--|----|
| 〈그림 1-1〉 한국 온실가스 배출량 감축 목표 | 1 |
| 〈그림 1-2〉 기후변화의 경제적 영향 | 3 |
| 〈그림 1-3〉 한국 기후변화 대응 체계 개편 | 4 |
| 〈그림 1-4〉 연구목적 및 방법 | 6 |
| 〈그림 2-1〉 기후변화 정책방향 변화 | 10 |
| 〈그림 2-2〉 지구 복사강제력 | 12 |
| 〈그림 2-3〉 감축정책 수단의 예: 에너지 및 수송 분야 | 13 |
| 〈그림 2-4〉 감축 비용 곡선 | 14 |
| 〈그림 2-5〉 전 세계 온실가스 감축 비용 | 15 |
| 〈그림 2-6〉 산림전용 및 황폐화 방지 관련 국제 협약 | 16 |
| 〈그림 2-7〉 CDM 프로젝트 사이클 | 16 |
| 〈그림 2-8〉 기후변화의 영향과 감축/적응 사업 관계 | 18 |
| 〈그림 2-9〉 기후변화 적응의 편익 | 19 |
| 〈그림 2-10〉 기후변화에 따른 농작물 재배 변경 | 20 |
| 〈그림 2-11〉 기후변화 취약성 | 22 |
| 〈그림 2-12〉 기후회복력 | 23 |
| 〈그림 2-13〉 감축과 적응 | 24 |
| 〈그림 2-14〉 감축과 적응의 순편익 | 25 |
| 〈그림 2-15〉 감축-적응 연계 | 27 |
| 〈그림 2-16〉 감축-적응 연계 경제성 평가 예시 | 28 |
| 〈그림 3-1〉 감축-적응 연계 전략 | 29 |
| 〈그림 3-2〉 기후변화 적응 기술 분류 | 31 |
| 〈그림 3-3〉 감축-적응 연계 프로세스 | 33 |
| 〈그림 3-4〉 에너지부문 감축정책의 공편익 | 35 |
| 〈그림 3-5〉 독일 KfW 기금 조성 | 38 |
| 〈그림 3-6〉 태양광 발전 시설 | 40 |

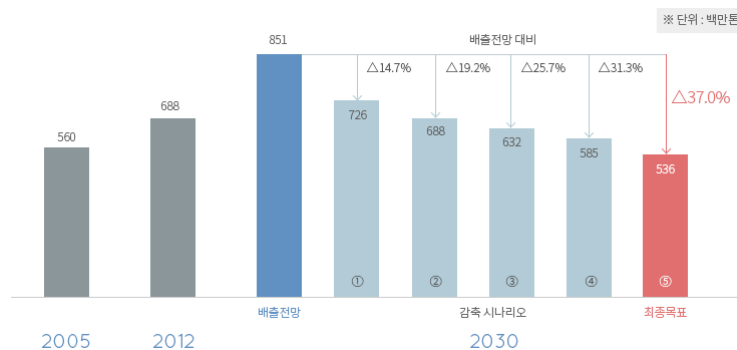
| | |
|---|-----|
| 〈그림 3-7〉 유기성 폐기물 처분 사업 사례 | 41 |
| 〈그림 3-8〉 스위스 바젤 옥상녹화 사업 | 42 |
| 〈그림 3-9〉 생태기반 적응정책 개념 | 43 |
| 〈그림 3-10〉 산림과 온실가스 감축 | 44 |
| 〈그림 3-11〉 산림의 생태적 기능 | 45 |
| 〈그림 3-12〉 멕시코 커피농장 혼농임업 사례 | 45 |
| 〈그림 3-13〉 혼농임업의 기능 | 46 |
| 〈그림 4-1〉 IPCC 감축-적응 연계유형 | 49 |
| 〈그림 4-2〉 온실가스 감축-기후변화 적응 연계유형 | 53 |
| 〈그림 4-3〉 3차 연계과정 및 방법 | 58 |
| 〈그림 4-4〉 단계별 기후변화 전통지식 활용 | 80 |
| 〈그림 4-5〉 기후변화 전망 | 83 |
| 〈그림 4-6〉 호주 WALFA 프로젝트 | 86 |
| 〈그림 4-7〉 탄자니아 Ngitili 경작방식 복원 과정 | 87 |
| 〈그림 4-8〉 한국의 전통 마을 숲 | 88 |
| 〈그림 4-9〉 경북궁 경회루 연못의 방재와 수처리 시스템 | 89 |
| 〈그림 4-10〉 UNESCO 전통지식 플랫폼 | 91 |
| 〈그림 4-11〉 지역사회 기반 적응 프레임워크 | 92 |
| 〈그림 4-12〉 CVCA 모형 적용 과정 예시 | 92 |
| 〈그림 5-1〉 기후경제통합평가모형 | 97 |
| 〈그림 5-2〉 MIT IGSM2모형 | 98 |
| 〈그림 5-3〉 MIT EPPA모형 | 98 |
| 〈그림 5-4〉 CLIR모형 | 99 |
| 〈그림 5-5〉 기후변화 리스크 | 101 |
| 〈그림 5-6〉 한국형 상·하향식 온실가스 통합 감축모형 | 102 |
| 〈그림 5-7〉 부문별 기후변화 영향 및 취약성 통합평가모형 | 103 |
| 〈그림 5-8〉 토지이용통합모델 KEI-ILUM 구조 | 104 |
| 〈그림 5-9〉 KEI-ILUM모형 결과 예시 | 105 |
| 〈그림 5-10〉 기후-감축-적응 통합 모형 | 110 |

제1장 | 서론

1. 연구 배경

가. 국제적 논의

최근 기후변화 문제를 해결하기 위한 국제적인 노력은 더욱 커지고 있다. 2015년 12월 파리에서 개최된 유엔기후변화협약(UNFCCC: United Nations Framework on Climate Change) 제21차 당사국총회(COP: Conference Of the Parties)에서는 모든 당사국들이 지구평균기온의 상승폭을 2℃ 이내로 억제하기 위해 공동의 노력을 다할 것을 약속하였다(파리협정문 제2조). 이를 위해 UNFCCC에서는 모든 당사국들이 국가별로 기후변화 대응 기여방안(NDC: Nationally Determined Contributions)을 작성하여 제출하도록 하고 있다. NDC상으로 한국은 <그림 1-1>과 같이 2030년까지 기본 배출전망치(BAU: Business as Usual) 대비 온실가스 배출량 37% 감축을 목표로 하고 있다.



자료: <http://www.gir.go.kr/home/index.do?menuId=22>, 검색일: 2016.11.24.

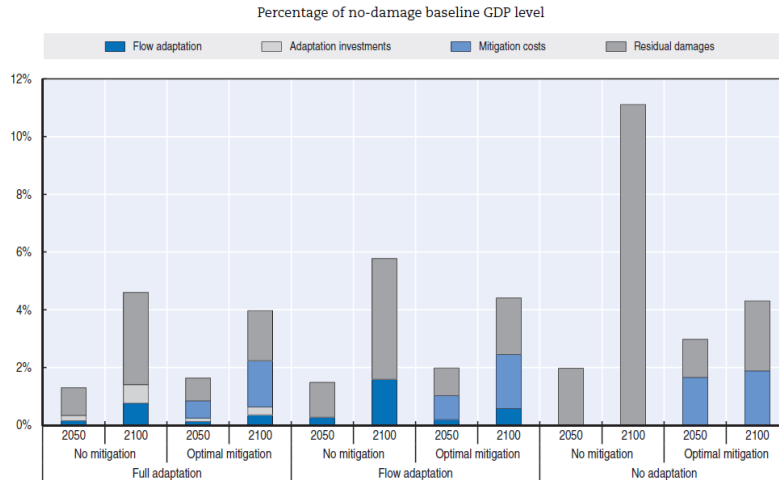
<그림 1-1> 한국 온실가스 배출량 감축 목표

파리협정문(Paris Agreements)에서는 온실가스 감축뿐 아니라 기후변화 적응의 중요성도 강조하고 있다. 협정문에서는 모든 당사국들이 기후변화 적응에 관한 계획을 제출하도록 하고 있으며, 선진국들에게는 기후변화에 취약한 최빈국(LDC: Least Developed Country)을 포함한 개도국들과 소규모 도서 국가들이 국가기후변화 적응계획(NAP: National Adaptation Plan)을 수립할 수 있도록 도울 것을 권고하고 있다(파리협정문 제7조, 제9조, 제10조).

또한 파리협정문에서는 온실가스 감축과 기후변화 적응 연계의 중요성도 언급하고 있다. 구체적으로 파리협정문 제4조 제7항에서는 적응 노력에서 동반되는 감축의 공편익(co-benefit)을 언급하고 있으며, 제5조 제2항에서는 감축 노력에서 발생하는 여러 공편익을 언급하고 있다. 또한 일반 당사국들이 기후변화에 취약한 국가들에 대해 기술·재정적으로 지원할 수 있도록 하고 있는데, 개도국에 대한 기술·재정적 지원은 감축과 적응의 균형을 고려하여 진행하도록 권고하고 있다.

이 밖에도 온실가스 감축과 기후변화 적응 연계의 중요성은 기후변화에 관한 국제 간 패널(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change), 유엔개발계획(UNDP: United Nations Development Planning), 유엔환경계획(UNEP: United Nations Environment Planning), 경제협력개발기구(OECD: Organization for Economic Co-operation and Development) 등 국제기구의 최근 보고서에서도 강조되고 있다(IPCC, 2007, 2014; UNDP-UNEP, 2011; OECD, 2015). 일례로 OECD(2015)는 AD-DICE(De Bruin et al., 2009)라는 기후경제 통합평가모형(IAM: Integrated Assessment Model of climate and the economy)을 활용해 온실가스 감축-기후변화 적응 연계의 필요성을 강조했다. OECD의 분석결과 온실가스 감축과 기후변화 적응을 동시에 고려할 경우, 온실가스 감축만을 고려할 경우에 비해 <그림1-2>와 같이 기후변화로 인한 피해비용이 1%p 이상 낮아질 수 있다.¹⁾

1) AD-DICE를 포함한 IAM에 대한 자세한 설명은 황인창(2015)을 참고할 수 있다.



주: Full adaptation은 사전적 대비와 사후적 대응을 모두 포함한 기후변화 적응을 의미하며, Flow adaptation은 사후적 대응을 의미함. 세로축은 기후변화 피해비용이 없는 경우의 전 세계 총생산(no-damage baseline GDP level)에 대비한 비용을 퍼센트 비율로 나타낸 것임. 그림에서 제시된 것처럼 감축과 적응 등 기후변화에 대한 대응 후에도 일정 부분의 피해 비용은 남게 됨(residual damages).

자료: OECD(2015), p.118.

〈그림 1-2〉 기후변화의 경제적 영향

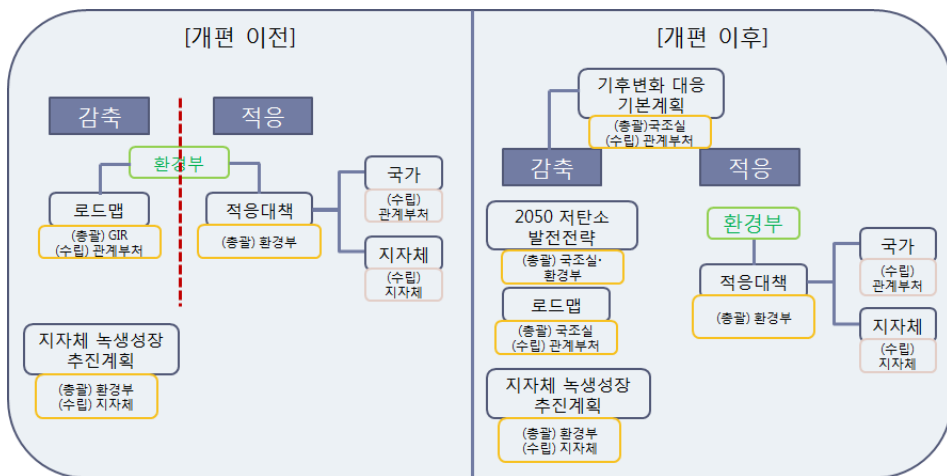
나. 국내 현황

국내에서는 대체로 온실가스 감축과 기후변화 적응을 개별적으로 추진해 왔다. 온실가스 감축정책은 국가 차원에서 『국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵』(이하 ‘감축 로드맵’) 등을 통해 추진되어 왔다. 감축 로드맵은 온실가스종합정보센터(2010년 설립) 내에 설치된 공동 작업반과 국무조정실 주관 관계부처 협의체 등을 통해 2014년에 수립되었으며, 녹색성장 위원회 심의를 거쳐 국무회의 보고 후 최종 확정되었다(관계부처 합동, 2014). 기후변화 적응 정책은 『국가 기후변화 적응대책』(이하 ‘국가 적응대책’)을 통해 추진되고 있다. 국가 적응대책은 국가기후변화 적응센터(2009년 설립)의 총괄 하에 관계부처 협의를 통해 수립되고 있으며 녹색성장위원회 심의를 거쳐 최종 확정되고 있다(관계부처 합동, 2016).

정부에서는 파리협정 이후 2016년 2월 기후변화 대응체계를 다음 그림과 같이 변경하였다. 구체적으로 국가 온실가스 감축정책은 국무조정실이 총괄하게 되었으며, 온실가스종합정보센

터가 환경부 산하에서 국무조정실 산하로 이관되었다. 배출권거래제도의 운영은 기존 환경부에서 환경부를 포함한 4개 부처가 공동운영하는 것으로 변경되었다.²⁾ 정부는 2016년에 『2030 온실가스 감축 로드맵』과 『기후변화 대응 기본계획』을 수립하고, 2017년에는 『2050 장기 저탄소 발전전략』을 수립할 예정이다.

지자체 차원에서는 『지방 녹색성장 추진계획』과 『지자체 기후변화 적응계획』을 수립하고 있으며, 환경부가 개별 계획의 수립을 지원하고 모니터링 하는 업무를 수행하고 있다. 2016년 2월에 있었던 기후변화 대응체계 변화에는 지자체 차원에서의 법정계획 수립과 관련한 변화는 포함되지 않았다.



〈그림 1-3〉 한국 기후변화 대응 체계 개편

2) 국무조정실 보도자료(2016.2.25), “파리협정의 효과적 이행을 위한 기후변화 대응체계 강화”.

2. 연구 필요성 및 목적

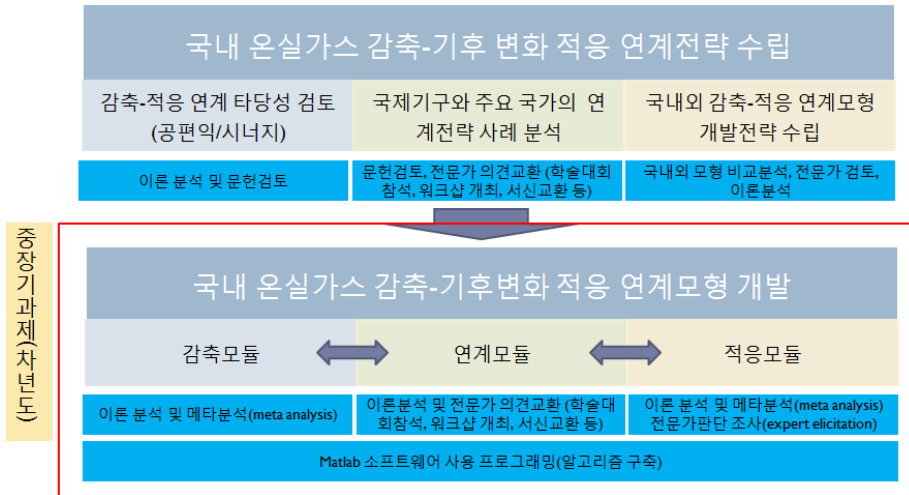
가. 연구 필요성

국제 기후변화 협상 논의와 기후변화 관련 예산 배분은 대체로 온실가스 감축에 집중되어 왔지만, 최근에는 국제기구와 개도국 등을 중심으로 기후변화 적응의 중요성이 점차 강조되고 있다. 파리협정문과 IPCC 보고서를 비롯해 최근의 국제 기후변화 논의에서도 온실가스 감축과 기후변화 적응 연계의 필요성이 제기되고 있다. 앞서 살펴보았듯이 현재까지 한국에서는 온실가스 감축과 기후변화 적응을 개별적으로 추진해 왔는데, 향후에는 감축과 적응의 공편익 및 시너지 효과를 고려해 두 정책을 연계할 필요가 있다.

나. 연구 목적

온실가스 감축과 기후변화 적응을 효과적으로 연계하기 위해서는 먼저 이를 위한 전략을 수립하고, 정책수립과 분석에 활용할 수 있는 분석도구를 개발해야 한다. 이에 이번 연구는 <그림 1-4>에 나타난 바와 같이, 국내에서 온실가스 감축과 기후변화 적응을 효과적으로 연계하기 위한 전략 수립을 목적으로 한다. 또한 이번 연구는 향후 실제 정책분석에 활용할 수 있는 감축-적응 연계모형을 구축하기 위한 기초연구의 성격을 갖고 있다. 이번 연구의 세부 목표는 다음과 같다.

- 온실가스 감축과 기후변화 적응의 연계 필요성 및 타당성 검토
- 국제기구와 주요 선진국의 온실가스 감축-기후변화 적응 연계사례 검토
- 온실가스 감축 및 기후변화 적응 관련 국내외 모형개발 현황 분석
- 온실가스 감축-기후변화 적응 연계전략 및 향후 모형개발 전략 수립



〈그림 1-4〉 연구목적 및 방법

기후경제모형과 관련한 국내외 관련 선행연구는 〈표 1-1〉과 같다.³⁾ 국내 선행 연구들은 대체로 온실가스 감축과 기후변화 적응을 분리해서 살펴보았다(김용건 외, 2014~진행 중; 한화진 외, 2014~진행 중; 황인창, 2015). 기존 연구들과 달리 이번 연구에서는 감축과 적응을 연계하는 모형을 대상으로 분석하며, 구체적인 연계전략과 모형개발 계획을 다룬다. 국립환경과학원(2015, 2016)의 경우 동아시아 지역을 대상으로 하여 이번 연구와 분석대상이 다르다. 또한 이번 연구는 감축-적응 연계전략 수립을 목적으로 한다는 점에서 국립환경과학원의 연구와 다르다.

해외문헌들은 대체로 기존 모형을 활용하여 시사점을 도출하는 사례가 많았다. 최근 적응을 고려한 기후경제모형이 해외에서 일부 개발되고는 있으나, 아직까지는 적응과 관련한 분석범위가 좁고 한국을 독립적으로 다루지 않아 해외 모형을 직접 활용하는 데에는 한계가 있다. 예를 들어, OECD(2015)는 감축과 적응을 동시에 추진할 때의 효과를 추정하기 위해 전 세계 단일지역 모형(AD-DICE 모형)을 활용했으며, Standard & Poor's(2015)는 적응의 일부(보험)만을 고려했다. 이번 연구는 해외문헌들과 달리 한국을 독립적으로 다룬 모형 개발전략을 수립한다는 특징이 있다.

3) 온실가스 감축-기후변화 적응 연계에 관한 선행연구는 2장 이후 관련 논의 부분에서 제시하였다.

〈표 1-2〉 선행연구 검토

| 구분 | 연구목적 | 연구방법 | 주요연구내용 |
|--------------------------|--|---|--|
| OECD (2015) | 기후변화 영향 및 정책 효과에 대한 경제 분석 | - OECD ENV-Linkages 모형 활용 지역-부문별 기후변화 영향 분석 - AD-DICE 모형(단일 지역 모형) 활용 기후변화 영향 분석, 적응 포함 기후변화 정책 효과 추정 | - 2060년까지의 지역-부문별 기후변화 피해비용 산출 - 2100년까지 온실가스 감축과 기후변 화 적응정책의 효과 추정 |
| Standard & Poor's (2015) | 기후변화가 국가 신용등급에 미치는 영향 분석 | - Nat Cat 모형 활용 지역-부문별 기 후변화 영향 분석 - Standard & Poor's의 신용등급 분 석 기법 활용 기후변화에 따른 국가 신용등급 변화 전망 | - 2050년까지 기후변화에 따른 국가별 신용등급 변화 분석 - 기후변화 적응 수단의 하나로서 기후 재난보험을 고려할 경우 신용등급 변 화 분석 |
| IPCC (2014) | 기후변화에 대한 과학적 사실과 기후변화 영향 및 관련 기후정책 공유 및 전파 | - CMIP 프로젝트 등을 통한 지역별 중장기 기후변화 전망 - 온실가스 감축, 기후변화 적응, 연 구기술 투자 등 기후변화 정책에 관 한 전문가 검토(peer-review) | - 이번 과제와 관련하여 선행연구들의 성과와 한계를 종합하여 보여준다는 점에서 의미가 있음 - 개별 감축수단, 적응수단, 공편의 등 에 대한 종합비교 |
| 황인창 (2015) | 국내 기후경제통합-지역 평가모형 개발을 위한 기본 틀 구축 | - 기존 모형에 대한 비교분석 - 개별 모듈에 대한 이론 검토 및 유 형화 - RICE 모형을 활용한 실증연구 | - 기후변화대응전략에 따른 국가(지역) 별 기후변화정책 실증연구 - 국내 모형개발을 위한 기본방향, 모듈 별 구성요소, 향후일정, 기존연구와 협력방안 등 제시 |
| 김용건 외 (2014 ~진행 중) | 상향식 모형과 하향식 모형을 통합한 한국형 온실가스 감축 모형 개발 | - 상하향식 통합 감축모형 개발 - 상향식 모형과 하향식 모형의 연계 기법에 관한 문헌검토, 이론분석, 국내외 전문가 자문 | - CGE 기법을 이용한 하향식 모듈 개 발, 전력, 농업 등 부문별 상향식 모듈 개발 - 상하향식 통합모형 개발 |
| 한화진 외 (2014~ 진행 중) | 기후변화 영향 및 취약성 통합평가모형 개발 | - 해양 수산 등 주요 부문별 기후변화 영향 및 취약성 평가 관련 문헌검 토, 이론 분석, 국내외 전문가 자문 | - 기후자료 상세화 및 관련 DB 시스템 구축 - 해수면 상승 영향 및 취약성 평가 모 형 개발 및 적용 |
| 채여라 외 (2013 ~2016) | 기후변화 관련 사회경제 시나리오 개발 | - 관련 해외 시나리오 개발모델 벤치 마크 - 관련 이론 및 문헌 검토, 국내외 전 문가 자문 | - IPCC와 기상청의 RCP 시나리오에 따른 기후 및 사회경제 시나리오 개발 |
| 국립환경과학원 (2015 ~2016) | 기후변화시나리오에 따른 기후변화 관련 비용 산출 | - 기후 및 대기질 전망 모형 활용 - 관련 이론 및 문헌 검토, 국내외 전 문가 자문 | - 동아시아지역 기후 및 대기질 전망 자 료 생산 - 전망 시나리오에 따른 기후변화 비용 산정 |

다. 주요 연구 내용 및 절차

온실가스 감축-기후변화 적응 연계전략을 수립하기 위한 첫 번째 과정은 온실가스 감축과 기후변화 적응의 연계 가능성 및 타당성을 검토하는 것이다. 연계 가능성 및 타당성 검토는 온실가스 감축과 기후변화 적응의 특징에 기초하였다.

온실가스 감축-기후변화 적응 연계전략을 수립하기 위한 두 번째 과정은 국제기구와 해외 국가, 학술 연구 등에서 제시하고 있는 감축-적응 연계사례 및 전략을 분석하는 것이다. 검토 결과 감축-적응 연계전략을 종합적으로 제시하는 국가나 국제기구의 사례가 드물고, 대부분의 경우 산림과 농업 등 부문별 사례를 중심으로 분석하고 있다. 해외사례에 대한 보다 자세한 내용은 감축-연계에 관한 부문별 전략을 제시하는 과정에서 기술하였다.⁴⁾

온실가스 감축-기후변화 적응 연계전략을 수립하기 위한 세 번째 과정은 실제로 국내에서 온실가스 감축과 기후변화 적응 연계 사업을 수행할 수 있도록 돕는 분석도구(모형)를 개발하는 일이다. 이를 위해서는 국내외에서 개발되어 있는 관련 모형들의 특징 및 장단점을 비교 검토하는 과정이 필요하다. 모형 개발은 오랜 시간을 요구하는 작업이기 때문에, 이번 연구에서는 목적상 모형 개발전략을 세우는 것으로 세 번째 과정과 관련한 연구 범위를 제한하였다.⁵⁾

4) 부문별 전략에 관한 개별 연구 내용들은 주제별로 2016 기후변화와 지속가능혁신 국제컨퍼런스(인천 인하대, 2016.6.29), 한국환경정책학회 2016년 추계 학술대회(서울 코엑스, 2016.10.21) 등에서 발표되었다. 지정토론을 비롯해 토론에 참여해 주신 모든 분에게 감사드립니다. 산림탄소상쇄사업에 관한 내용은 학술지 「환경정책」에 아래와 같이 게재되었으며, 기후경제모형 알고리즘에 관한 내용은 학술지 *Computational Economics*에 아래와 같이 게재될 예정이다. 김대수 외(2016), “공편익을 고려한 산림탄소상쇄사업 활성화 방안”, 「환경정책」, 24(4), pp.1-23. Hwang(2017), “A recursive method for solving a climate-economy model: Value function iterations with logarithmic approximations”, *Computational Economics*(forthcoming).

5) 모형 개발의 일반적인 절차에 관한 자세한 내용은 황인창(2015)을 참고할 수 있다.

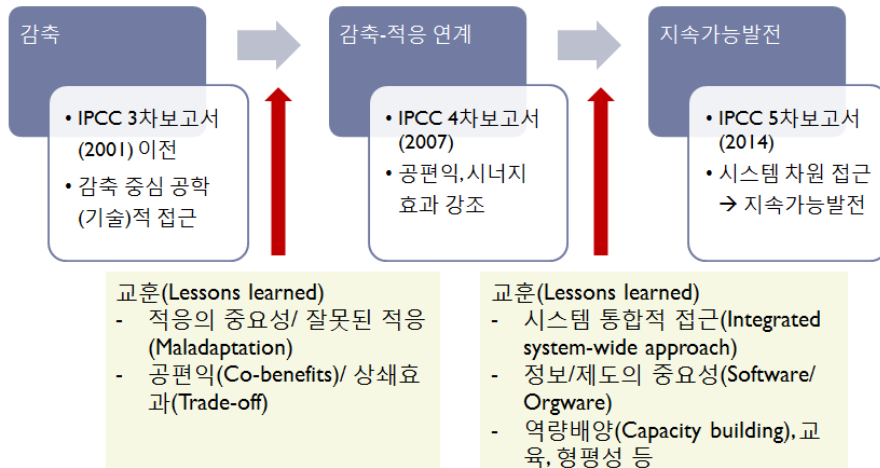
제2장 | 감축-적응 연계 논의

1. 기후변화 정책방향 변화

이번 절에서는 IPCC 보고서를 중심으로 기후변화 정책의 방향이 변화되어 온 과정을 살펴 보고자 한다. IPCC는 기후변화에 관한 국제적인 논의와 기후변화 협상에서 기초자료로 활용되고 있는 평가보고서(assessment report)를 주기적으로 발간하고 있다. IPCC 평가보고서는 기본적으로 학술 연구 결과에 대한 전문가들의 검토(peer review) 보고서이기 때문에 기후변화에 관한 연구 흐름과 정책방향의 변화를 살펴보는 데 유용하다.⁶⁾

〈그림 2-1〉에 나타난 바와 같이 제3차 평가보고서(IPCC, 2001) 이전까지 IPCC에서는 온실가스 감축을 중심으로 기후변화 대응정책 논의를 진행해 왔다. 온실가스 배출량을 줄이기 위한 기술 공학적인 접근과 배출권 거래제도 등 사회경제적인 방법이 주요한 대응 수단으로 검토되었다. 제4차 평가보고서(IPCC, 2007) 이후부터는 감축과 적응의 연계 중요성을 강조하기 시작했는데, 이는 잘못된 적응(maladaptation) 사례에 대한 경험과 감축 혹은 적응사업의 공편익 및 상쇄효과 등에 대한 연구결과들이 다수 축적되었기 때문이다. 제5차 평가보고서(IPCC, 2014)에서는 한 단계 더 나아가 지역사회 시스템 차원에서 접근하여 감축과 적응의 공편익을 지속가능한 발전 개념과 연결시키려 노력했다. 이는 감축과 적응사업을 진행하는 과정에서 역량배양(capacity building)의 중요성과 정보 및 제도의 중요성을 인식하게 되고, 감축 및 적응사업이 시행되는 시스템(생태계 및 경제계를 포함하는 지역사회)에 대한 통합적 접근이 필요함을 확인할 수 있었기 때문이다.

6) IPCC의 역사와 평가 프로세스 등에 대한 자세한 설명은 Agrawala(1998a;b); Tol(2011) 등을 참고할 수 있다.



〈그림 2-1〉 기후변화 정책방향 변화

2. 감축-적응의 특징

가. 감축의 특성

1) 감축(mitigation of climate change)의 정의

IPCC 보고서(IPCC, 2014)에는 감축 또는 완화가 다음과 같이 정의되어 있다.

온실가스 배출원을 줄이거나 흡수원을 강화시키기 위한 인간의 개입⁷⁾

위의 정의에서도 확인할 수 있듯이 온실가스 감축에는 온실가스 배출원을 줄이려는 노력뿐 아니라 온실가스 흡수원을 강화시키려는 노력도 포함된다. 이러한 점은 기후변화 적응과의

7) “A human intervention to reduce the sources or enhance the sinks of greenhouse gases(GHGs). This report also assesses human interventions to reduce the sources of other substances which may contribute directly or indirectly to limiting climate change, including, for example, the reduction of particulate matter emissions that can directly alter the radiation balance (e.g., black carbon) or measures that control emissions of carbon monoxide, nitrogen oxides, Volatile Organic Compounds and other pollutants that can alter the concentration of tropospheric ozone which has an indirect effect on the climate”, IPCC(2014), p.125.

연계 가능성을 높이는 것이라 할 수 있는데, 산림탄소상쇄사업(forest carbon offset) 또는 혼농임업(agroforestry)과 같은 흡수원 강화 사업(감축의 한 분야)은 생태계를 매개로 기후변화 적응에 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

또한 각주 7에서 확인할 수 있듯이 IPCC의 감축에 대한 정의에서는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 할로젠가스(Halo-carbons) 등 교토의정서(Kyoto Protocol) 6대 온실가스 뿐만 아니라, 일산화탄소(CO), 휘발성 유기물질(VOC), 질소산화물(NO_x), 에어로졸, 오존(O₃) 전구물질 등도 감축 대상으로 포함하고 있다. 실제로 이러한 물질들은 <그림 2-2>에서 확인할 수 있는 것처럼 복사강제력(radiative forcing)에 영향을 주는 물질이다.⁸⁾ 온실가스 등 지구 에너지수지(energy balance)에 영향을 미치는 개별 요인(driving force)들의 복사강제력이 양(+)일 경우 지구 평균기온을 높이는 방향으로 작용하며, 복사강제력이 음(-)일 경우에는 지구 평균기온을 낮추는 방향으로 작용한다. 일산화탄소, 휘발성 유기물질, 질소산화물, 에어로졸, 오존 전구물질 등은 인체와 생태계에 유해한 영향을 주는 오염 물질이다. 따라서 감축 또는 적응사업을 하는 과정에서 발생하는 이런 물질들의 변화는 개별 사업의 공편익이 될 수 있다. 구체적으로 기후변화 적응사업을 통해 이러한 오염물질 배출을 억제하거나 흡수할 수 있다면, 위의 정의상 감축과 적응의 연계라고 볼 수 있다.

8) "The strength of drivers is quantified as Radiative Forcing(RF) in units watts per square meter (W/m²) as in previous IPCC assessments. RF is the change in energy flux caused by a driver and is calculated at the tropopause or at the top of the atmosphere", IPCC(2014), p.126.

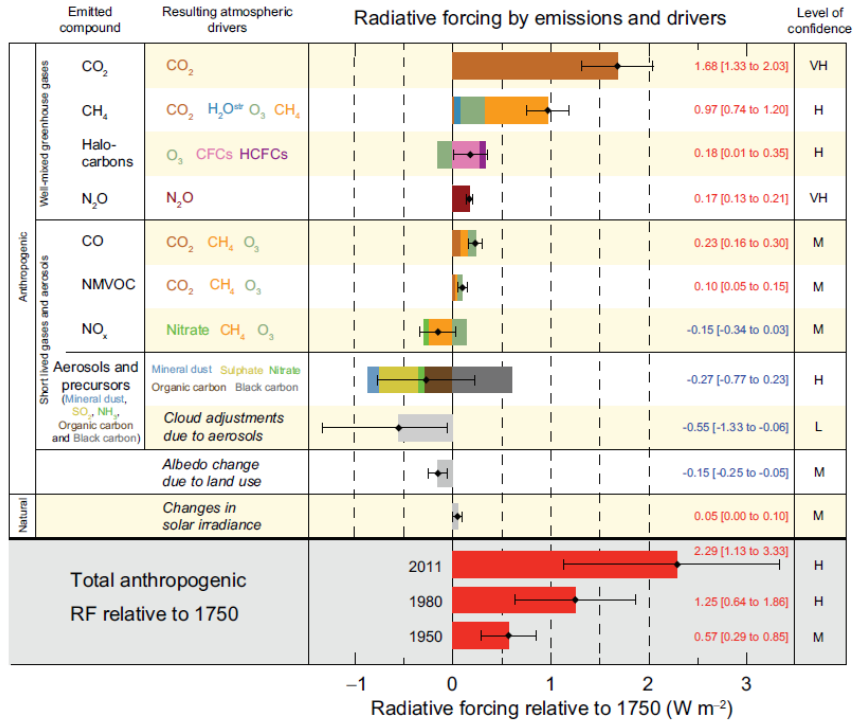


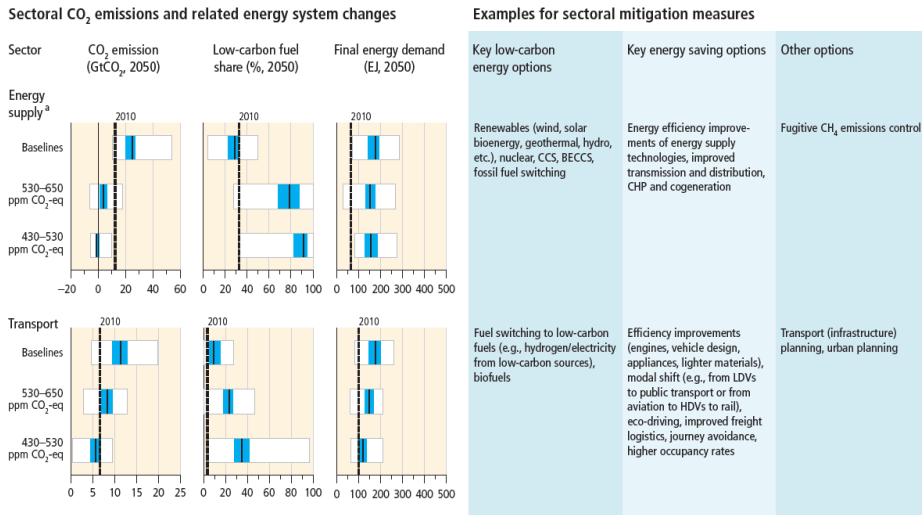
Figure SPM.5 | Radiative forcing estimates in 2011 relative to 1750 and aggregated uncertainties for the main drivers of climate change. Values are global average radiative forcing (RF^a), partitioned according to the emitted compounds or processes that result in a combination of drivers. The best estimates of the net radiative forcing are shown as black diamonds with corresponding uncertainty intervals; the numerical values are provided on the right of the figure, together with the confidence level in the net forcing (VH – very high, H – high, M – medium, L – low, VL – very low). Albedo forcing due to black carbon on snow and ice is included in the black carbon aerosol bar. Small forcings due to contrails (0.05 W m⁻², including contrail induced cirrus), and HFCs, PFCs and SF₆ (total 0.03 W m⁻²) are not shown. Concentration-based RFs for gases can be obtained by summing the like-coloured bars. Volcanic forcing is not included as its episodic nature makes it difficult to compare to other forcing mechanisms. Total anthropogenic radiative forcing is provided for three different years relative to 1750. For further technical details, including uncertainty ranges associated with individual components and processes, see the Technical Summary Supplementary Material. (8.5; Figures 8.14–8.18; Figures TS.6 and TS.7)

자료: IPCC(2013), p.14.

〈그림 2-2〉 지구 복사강제력

2) 감축정책의 특징

기후변화 적응과 비교할 때 온실가스 감축정책에는 분명한 목표가 있고 구체적인 실행수단이 존재한다. 예를 들어 파리협정문에서는 국제 사회가 지구 평균기온 상승을 2°C 이내로 억제할 것을 목표로 하고 더 나아가 기온 상승을 1.5°C 이내로 억제하기 위한 노력에도 동참할 것을 합의하였다.⁹⁾ 실행수단의 경우 IPCC 5차보고서에서는 분야별로 저탄소 에너지원 보급, 최종에너지 수요 절감 등 주요 감축수단과 수단별 효과를 아래 그림과 같이 제시하고 있다.



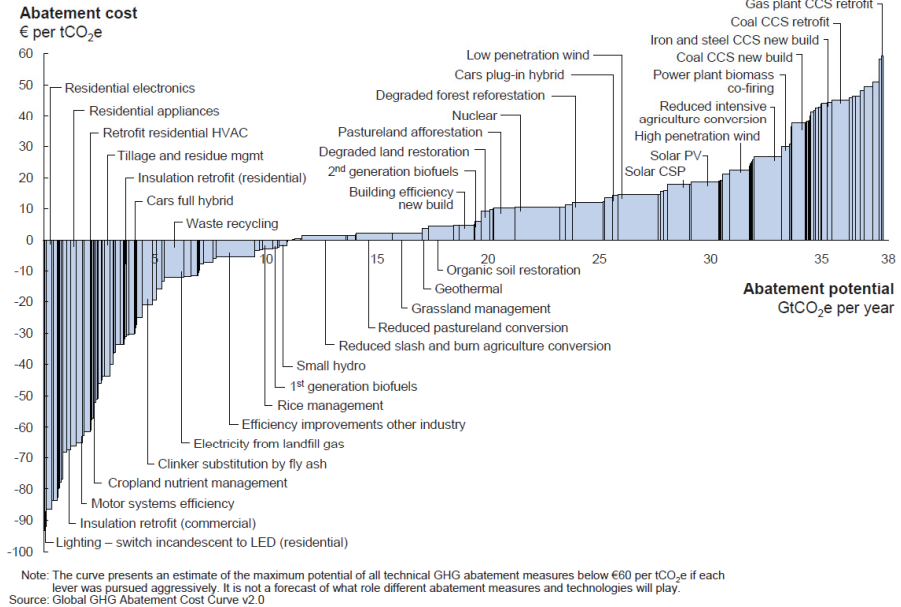
자료: IPCC(2014), p.101.

〈그림 2-3〉 감축정책 수단의 예: 에너지 및 수송 분야

또한 감축 기술에는 보편적인 특성이 있어서 전 세계 또는 국가 단위의 모형을 적용하기가 용이하다. 실제로 온실가스 감축과 관련하여서는 보편적인 기술 특성을 반영하여 아래 그림과 같은 온실가스 감축비용곡선(abatement cost curve)이 도출되고 있으며, 이러한 비용곡선은 감축사업을 계획하고 감축모형을 개발하는 데 있어 유용하게 활용되고 있다. 예를 들어 Ackerman et al.(2013)은 〈그림 2-4〉와 같은 온실가스 감축비용곡선을 활용해 CRED 모형을 구축했다.

9) “This Agreement, in enhancing the implementation of the Convention, including its objective, aims to strengthen the global response to the threat of climate change, in the context of sustainable development and efforts to eradicate poverty, including by: (a) Holding the increase in the global average temperature to well below 2 °C above pre-industrial levels and pursuing efforts to limit the temperature increase to 1.5 °C above pre-industrial levels, recognizing that this would significantly reduce the risks and impacts of climate change”, Paris Agreement Article, 2(1).

Global GHG abatement cost curve beyond business-as-usual – 2030



주: 가로축은 감축잠재량, 세로축은 감축 단위비용을 의미함. 감축 단위비용이 음수인 경우는 감축을 통해 발생하는 편익(에너지 절약 등)이 비용보다 큼을 의미함.
 자료: McKinsey and Company(2009), p.7.

〈그림 2-4〉 감축 비용 곡선

온실가스 감축비용곡선 등을 활용하면 개별 국가 또는 전 세계의 온실가스 감축비용도 〈그림 2-5〉와 같이 산정할 수 있다. 또한 잘 구축된 경제학 방법론을 활용해 온실가스 감축에 따른 편익(온실가스 감축으로 인해 줄어든 피해비용) 또는 효과를 별도로 산출하면 비용 값과의 비교를 통해 비용편익분석(cost-benefit analysis) 또는 비용효과분석(cost-effectiveness analysis)을 수행할 수 있다.¹⁰⁾

10) 온실가스 감축의 편익은 기본적으로는 기후경제모형 등에서 산출한 탄소의 사회적 비용(social cost of carbon)을 바탕으로 계산할 수 있다. 탄소의 사회적 비용에 관한 보다 자세한 설명은 Helm(2005)을 참고할 수 있다.

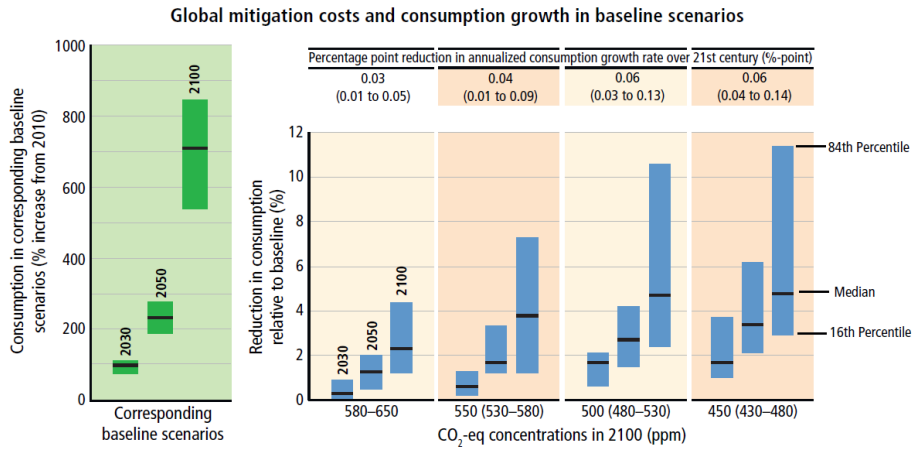


Figure 3.4 | Global mitigation costs in cost-effective scenarios at different atmospheric concentrations levels in 2100 (right panel) and growth in economic consumption in the corresponding baseline scenarios (those without additional mitigation) (left panel). The table at the top shows percentage points of annualized consumption growth reductions relative to consumption growth in the baseline of 1.6 to 3% per year (e.g., if the reduction is 0.06 percentage points per year due to mitigation, and baseline growth is 2.0% per year, then the growth rate with mitigation would be 1.94% per year). Cost-effective scenarios assume immediate mitigation in all countries and a single global carbon price, and they impose no additional limitations on technology relative to the models' default technology assumptions. Consumption losses are shown relative to a baseline development without climate policy. Cost estimates shown in this table do not consider the benefits of reduced climate change nor co-benefits and adverse side effects of mitigation. Estimates at the high end of these cost ranges are from models that are relatively inflexible to achieve the deep emissions reductions that would be required in the long run to meet these goals and/or include assumptions about market imperfections that would raise costs. (WGIII Table SPM.2, Figure TS.12, 6.3.6, Figure 6.21)

주: 왼쪽 그림은 베이스라인 시나리오에서 2010년 대비 전 세계 소비의 증가를 나타냄. 오른쪽 그림은 온실가스 감축목표에 따른 소비 변화를 나타냄.

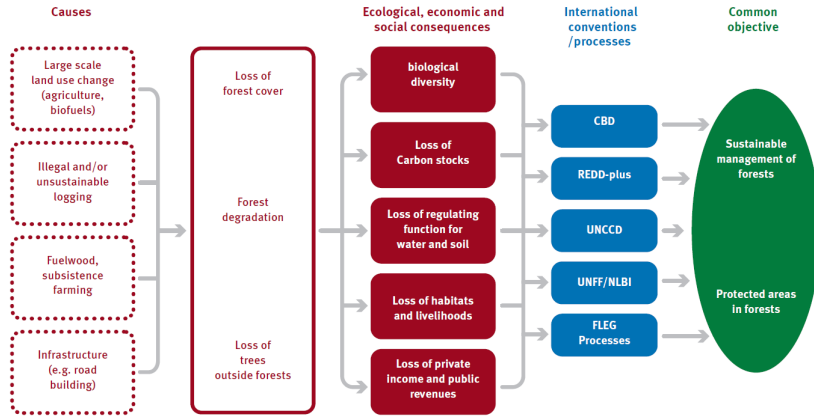
자료: IPCC(2014), p.85.

〈그림 2-5〉 전 세계 온실가스 감축 비용

온실가스 감축의 경우 편익과 비용 정보가 비교적 상세하게 산출될 수 있기 때문에 다양한 시장기제(market mechanism)가 작동하고 있다. 청정개발체제(CDM: Clean Development Mechanism), 산림전용 및 황폐화 방지를 통한 온실가스 배출저감(REDD/REDD+: Reduced Emissions from De-forestation and forest Degradation), 배출권거래제도(ETS: Emissions Trading Scheme), 탄소세 등이 대표적인 예이다.

이 중 〈그림2-6〉과 같은 REDD/REDD+ 사업의 경우 산림 등의 생태적 기능을 활용해 온실가스를 흡수하는 사업이기 때문에 기후변화 적응과의 연계성이 크다.

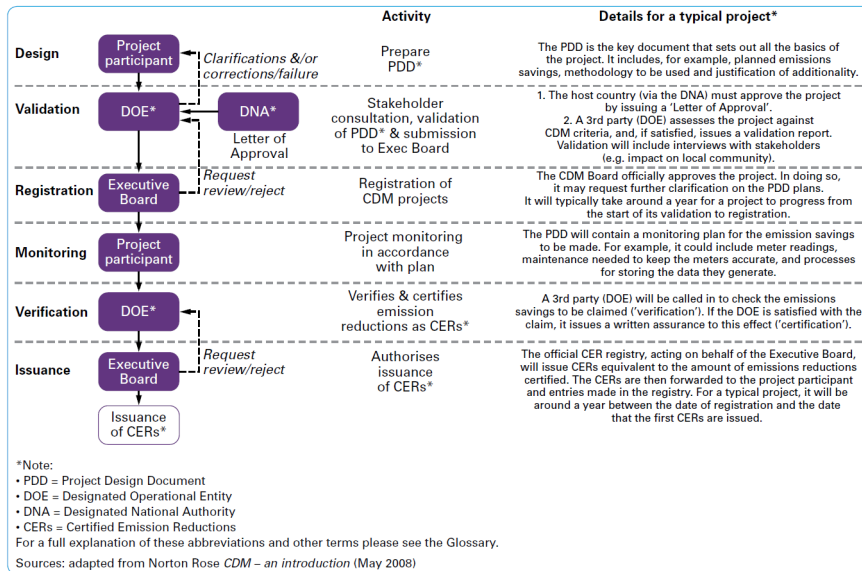
Deforestation and forest degradation



자료: GIZ et al.(2011), p.10.

〈그림 2-6〉 산림전용 및 황폐화 방지 관련 국제 협약

〈그림 2-7〉에서 제시한 CDM 사업의 경우에도 조림(forestation) 및 재조림(reforestation) 사업이 포함될 수 있지만, 실제 수행된 프로젝트의 양은 많지 않다(Carbon Trust, 2009).



자료: Carbon Trust(2009), p.18.

〈그림 2-7〉 CDM 프로젝트 사이클

온실가스 감축의 경우 비용은 개별 국가 또는 의사결정자가 부담하지만 편익은 전 세계가 공유하는 특징이 있다. 이는 온실가스의 부정적인 영향이 장기간 전 세계에 걸쳐 나타나기 때문이다. 이러한 구조로 인해 무임승차(*free ride*) 문제가 발생할 수 있어 온실가스 감축에 관한 국가 간 협력은 어렵다. 실제로 교토의정서(Kyoto Protocol)는 미국과 중국 등이 참여하지 않아 실패한 정책으로 평가받고 있다(Helm, 2012). 이러한 점에서 비용과 편익이 대체로 해당 지역 또는 국가에 귀착되는 기후변화 적응의 특징은 감축-적응 연계의 필요성을 부각시킨다고 할 수 있다. 감축 사업 시 발생하는 적응의 공편익을 고려한다면 감축의 총 편익은 지역 수준에서도 확인할 수 있게 된다.

나. 적응의 특성

1) 적응(*adaptation to climate change*)의 정의

IPCC 보고서(IPCC, 2014)에는 기후변화 적응이 다음과 같이 정의되고 있다.

실제로 발생하거나 앞으로 일어날 수 있는 기후변화와 그로 인한 영향들에 대해 (삶의 양식, 제도, 정책 등을) 조정해 가는 과정¹¹⁾

위의 정의에서도 확인할 수 있듯이 기후변화 적응은 단기간 기후변동성(*climate variability*)으로 인한 영향과 중장기 기후변화로 인한 영향을 줄이기 위한 노력을 모두 포함한다. 또한 각주 11에서 확인할 수 있듯이 기후변화 적응에는 기후변화로 인해 발생하는 새로운 기회요인을 이용하려는 노력도 포함한다. 실제로 캐나다 등 일부 고위도 국가에서는 지구 평균기온이 일정 수준 이하로만 상승할 경우 농업 생산량이 증가하는 등 단기간 순편익을 기대할 수도 있다(Tol, 2013; Nordhaus, 2013). 그러나 이 경우에도 전 세계가 무역으로 연결되어 있다는 점에서 특정 국가의 순편익이 장기간 지속되기는 어렵다.¹²⁾ 또한 온실가스는 장기간에 걸쳐

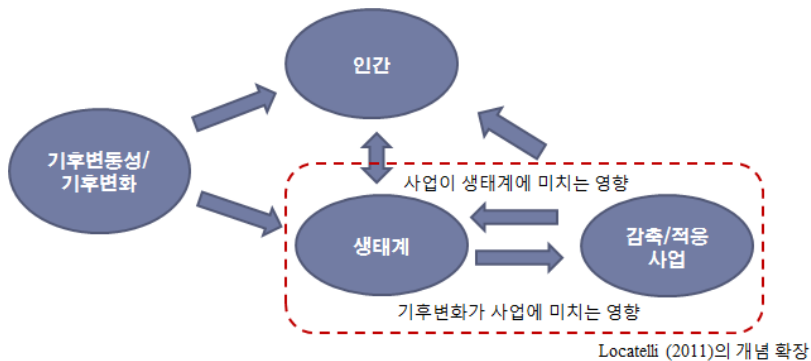
11) “The process of adjustment to actual or expected climate and its effects. In human systems, adaptation seeks to moderate or avoid harm or exploit beneficial opportunities. In some natural systems, human intervention may facilitate adjustment to expected climate and its effects”, IPCC(2014), p.118.

12) 예를 들어, 동남아시아에서 기후변화로 인해 쌀 생산량이 큰 폭으로 감소할 경우 쌀에 대한 산업 의존도와 수입의존도가 높은 국가(쌀을 주식으로 하거나 이를 원료로 가공식품을 생산하는 산업의 비중이 큰 국가)에서는 쌀 수입량의 변화와 이로 인한 쌀 가격의 상승으로 경제활동에 큰 영향을 받을 수 있다.

지구 대기 시스템의 변화를 유발하기 때문에 지구 평균기온을 특정 국가의 순편익이 높아지는 수준에서만 멈추도록 하기는 쉽지 않다. 이를 위해서는 국제간 공조도 필요한데 개별 국가마다 순편익을 얻을 수 있는 기준점이 다르기 때문에 협력이 쉽게 달성되기도 어렵다. 결국 지구 평균기온이 해당 수준보다 높아지게 되면 순편익을 누리던 지역에서도 피해액이 더욱 커져서 순편익은 사라질 수 있다. 따라서 기후변화로 인한 기회요인은 적응을 통해 기후변화 피해를 줄이기 위한 기술개발 및 투자, 온실가스를 줄이기 위한 기술개발 및 투자, 이로 인한 고용과 경제성장 등으로 파악하는 것이 적절하다.

2) 적응사업의 특징

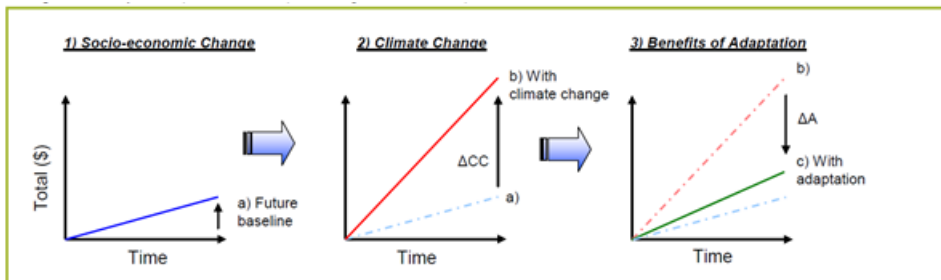
기후변화의 영향과 적응, 온실가스 감축사업의 관계는 다음 그림과 같이 이해할 수 있다. 기후변동성 또는 기후변화의 영향은 인간에게 미치는 영향과 생태계에 미치는 영향으로 구분할 수 있다. 인간에게 미치는 영향은 다시 건강과 재산손실 등 직접적인 영향과 농업, 어업, 임업 분야 등의 생산성 변화와 같이 생태계를 통해 일어나는 간접적인 영향으로 구분할 수 있다. 생태계에 직접적으로 미치는 영향은 생물 서식지 파괴와 그로 인한 생물다양성 손실 등이 있을 수 있다. 기후변화 적응은 인간에게 직접적으로 영향을 미치는 요인을 줄이려는 노력과 생태계를 고리로 인간에게 미치는 영향을 줄이려는 노력을 포함한다. 또한 생태계에 미치는 영향도 고려해야 한다.



〈그림 2-8〉 기후변화의 영향과 감축/적응 사업 관계

생태계는 기후변화의 영향과 적응, 온실가스 감축사업을 연결하는 고리 역할을 할 수 있다. 신재생에너지를 보급하는 감축사업을 예로 들면, 신재생에너지가 설치되는 공간인 토지(녹지, 산림 등 포함)는 생태계의 중요한 구성요소이다. 그런데 기후변화에 따라 해당 토지의 기후변화 취약성은 변할 수 있다. 이처럼 변화하는 기후환경에서는 감축사업의 수익성이 시간에 따라 변동될 수 있어 수익의 지속가능성이 영향을 받을 수 있다. 이는 기후변화가 감축사업에 미치는 영향이라고 볼 수 있다. 따라서 사업 수익의 지속가능성을 위해서라면 감축사업의 경우에도 사업부지의 기후변화 취약성을 검토하고 별도의 적응대책을 수립할 필요가 있다. 감축사업의 또 다른 예로 산림을 조성하거나 경영하는 산림탄소상쇄사업의 경우, 사업을 수행하는 과정에서 산림이 제공하는 생태계 서비스 기능(수자원 보호, 미기후 조절, 생물서식지 보호 등)이 추가되면서 다양한 기후변화 적응 편익을 제공할 수 있다. 이는 감축사업이 생태계에 미치는 영향이라고 볼 수 있다. 기후변화 적응을 목적으로 해안가나 유역에 수목을 심는 사업 역시 생태계 조성을 통해 다양한 편익을 제공할 수 있다. 이는 적응사업이 생태계에 미치는 영향이라고 볼 수 있다.

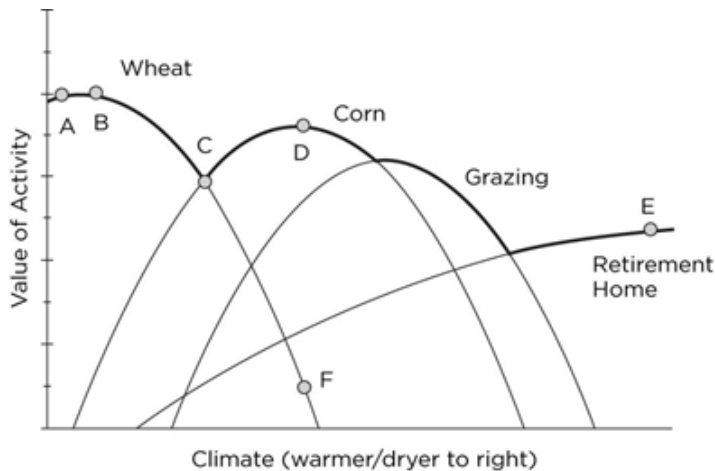
일반적으로 적응사업의 편익은 다음 그림과 같이 회피된 피해비용으로 정의된다(UNFCCC, 2009). 이러한 정의상 적응의 편익은 기후 시나리오 및 사회경제 시나리오에 따라 큰 폭으로 변화될 수 있다. 편익 산출의 기본 값이 되는 기후변화 피해비용이 시나리오에 따라 큰 폭으로 달라질 수 있기 때문이다. 예를 들어, <그림 2-9>에서 사회경제(a)와 기후변화(b) 정도가 달라지면 동일한 수준의 적응정책을 시행하더라도 적응의 편익(ΔA)은 달라질 수 있다.



자료: Boyd and Hund(2004).

<그림 2-9> 기후변화 적응의 편익

적응사업의 편익은 <그림 2-10>을 통해 보다 쉽게 이해할 수 있다. 그림에서 가로축은 기후 요소(기온과 강수량)를 나타내고 세로축은 작물의 생산성을 나타낸다. 기온이 상승하고 건조해질수록 작물의 생산성은 변하는데, 그림에서처럼 밀의 경우 상대적으로 저온 다습한 기후환경에서 생산성이 높은 반면, 옥수수의 경우 상대적으로 고온 건조한 환경에서 생산성이 높다. 따라서 B지점에 해당하는 기후환경에서 밀을 재배하던 농가의 경우 기후환경이 고온 건조한 방향으로 변할 때 재배작물을 변경하지 않으면 작물의 생산성이 B → C → F로 낮아질 수 있다. 반면, 밀을 재배하는 동일한 농가가 기후변화에 적응하여 작물을 옥수수로 변경할 경우 작물의 생산성은 B → C → D로 바뀌게 되어 기후변화로 인한 피해를 최소화할 수 있다. 이렇게 기후변화에 적응한 농가의 피해비용은 B와 D 사이의 세로 거리에 해당한다. 반면, 기후변화에 적응하지 않은 농가의 피해비용은 B와 F 사이의 세로 거리에 해당한다. 이때 적응의 편익은 회피된 피해비용인 D와 F 사이의 세로거리가 되며, B와 D 사이의 세로거리는 잔여 피해에 해당한다.¹³⁾



자료: Kolstad(2011), p.31.

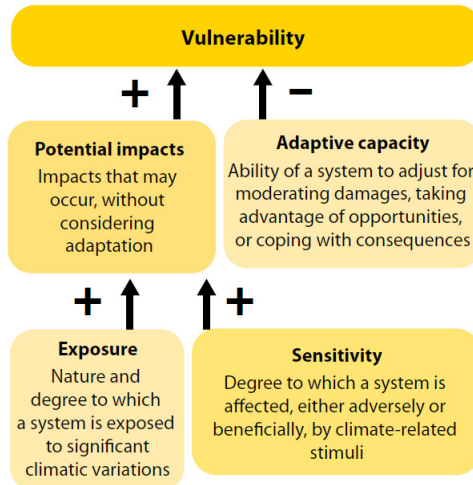
<그림 2-10> 기후변화에 따른 농작물 재배 변경

13) 물론 그림에서 확인할 수 있듯이 작물에 따라 기후변화로 인해 생산성이 증가하는 경우도 발생할 수 있다. 예를 들어 그림에서 A → B 또는 C → D로 변하는 경우가 이에 해당한다. 그러나 지구 평균기온이 상승할수록 전체적인 작물의 생산성은 그림에서 나타난 바와 같이 하락할 것이다(IPCC, 2014).

앞서 살펴본 농작물과 같이 시장에서 거래되는 제품을 제외하고, 대부분의 기후변화 적응의 편익은 인명피해 감소, 생태계 피해 감소 등과 같이 화폐화하기 어려운 것들이다. 또한 지역별로 기후변화의 영향이 다르기 때문에 공통의 적응 목표를 정하는 것 역시 어렵다. 이처럼 적응과 관련한 편익 산출의 어려움은 비용편익분석의 어려움을 야기하고, 목표설정의 어려움은 비용효과분석의 어려움을 야기한다. 이러한 이유로 적응정책에 관한 의사결정에는 다기준 평가법(multi-criteria analysis)이 많이 활용된다(UNFCCC, 2009). 또한 적응정책은 편익의 화폐화가 어렵기 때문에 시장기제가 잘 작동하지 않는다는 특징도 갖고 있다.

감축과 달리 비용과 편익이 모두 의사결정 지역에 귀착된다는 점은 적응의 장점이라고 할 수 있다. 적응은 <그림 2-11>에서 나타난 바와 같이 지역의 노출(exposure), 민감도(sensitivity), 적응역량(adaptive capacity)에 따라 크게 달라진다. 기후변화 취약성(vulnerability)은 잠재적인 영향(potential impacts)과 적응역량에 따라 결정되는데, 잠재적 영향은 다시 기후변화에 대한 노출 정도와 민감도에 따라 결정된다. 지역에 따라 기후변화의 정도가 다르고, 기후변화에 대해 노출되는 정도가 다르며, 변화된 기후에 대한 민감도가 다르다. 또한 지역에 따라 기후변화의 잠재적인 영향을 줄일 수 있는 역량도 다르다.¹⁴⁾ 이렇게 기후변화 영향과 취약성, 적응역량 등이 지역에 따라 큰 편차를 보이기 때문에, 기후변화 적응모형을 개발할 경우 전 세계 또는 국가단위 모형보다는 지역단위 분석 모형이 현실적으로 적합하다.

14) 예를 들어 한국과 캄보디아는 기후환경이 다르며, 산업구조 등의 차이로 인해 기후변화에 대한 민감도도 달라 잠재적인 기후변화의 영향이 다르다. 또한 정보와 사회 기간시설 등 기후변화에 대한 적응역량도 다르다.



자료: Locatelli(2011), p.2.

〈그림 2-11〉 기후변화 취약성

기후변화 적응정책의 방향은 크게 취약성을 줄이는 것, 기후회복력(resilience)을 높이는 것, 기후재난에 대응하는 것 등으로 구분할 수 있다.¹⁵⁾ 취약성은 위 그림에서 나타난 것처럼 기후변화에 대한 노출을 줄이거나 민감도를 줄이고 적응역량을 높이는 것 등을 통해 줄일 수 있다. 이때 개별 적응정책은 생태계를 기반으로 진행되는 경우가 많기 때문에 생태계의 탄소 흡수량에 영향을 미칠 수 있다.

회복력(resilience)은 외부 충격이 발생했을 때 시스템이 균형 상태로 되돌아가려는 힘을 의미한다. IPCC(2014)에서는 외부 충격에 대해 (사회, 경제, 환경 등) 시스템이 고유의 기능과 구조를 유지할 수 있는 힘을 회복력이라고 정의하고 있다.¹⁶⁾ 사회경제 경로에 따라 기후회복력은 〈그림 2-11〉에서 나타난 바와 같이 증가하거나 감소할 수 있는데, 기후변화 적응정책의 방향은 기후회복력을 증가시키는 경로를 취하는 것이라고 할 수 있다.

15) 물론 이는 임의적인 구분이라고 할 수 있다. 세 가지가 완벽하게 배타적으로 구분되는 것도 아니다. 향후 기후변화 적응과 관련한 여러 개념들의 특징을 구분하기 위한 추가적인 연구가 필요할 수 있다.

16) “The capacity of social, economic and environmental systems to cope with a hazardous event or trend or disturbance, responding or reorganizing in ways that maintain their essential function, identity and structure, while also maintaining the capacity for adaptation, learning and transformation.”, IPCC(2014), p.127.

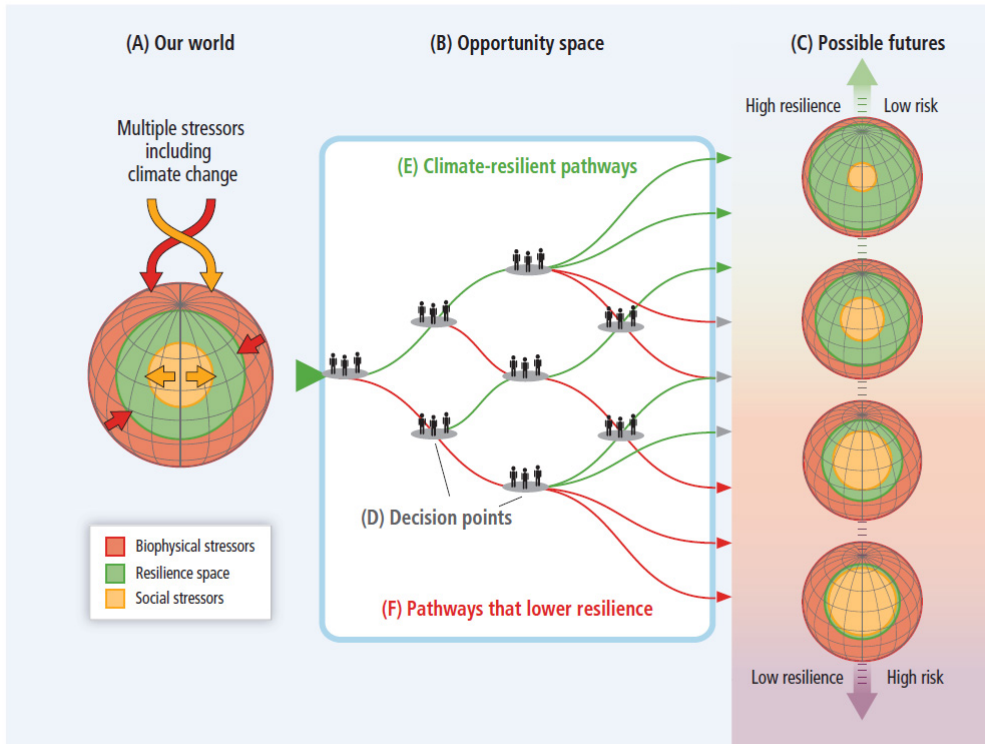


Figure SPM.9 | Opportunity space and climate-resilient pathways. (A) Our world [Sections A-1 and B-1] is threatened by multiple stressors that impinge on resilience from many directions, represented here simply as biophysical and social stressors. Stressors include climate change, climate variability, land-use change, degradation of ecosystems, poverty and inequality, and cultural factors. (B) Opportunity space [Sections A-2, A-3, B-2, C-1, and C-2] refers to decision points and pathways that lead to a range of (C) possible futures [Sections C and B-3] with differing levels of resilience and risk. (D) Decision points result in actions or failures-to-act throughout the opportunity space, and together they constitute the process of managing or failing to manage risks related to climate change. (E) Climate-resilient pathways (in green) within the opportunity space lead to a more resilient world through adaptive learning, increasing scientific knowledge, effective adaptation and mitigation measures, and other choices that reduce risks. (F) Pathways that lower resilience (in red) can involve insufficient mitigation, maladaptation, failure to learn and use knowledge, and other actions that lower resilience; and they can be irreversible in terms of possible futures.

자료: IPCC(2014b), p.29.

〈그림 2-12〉 기후회복력

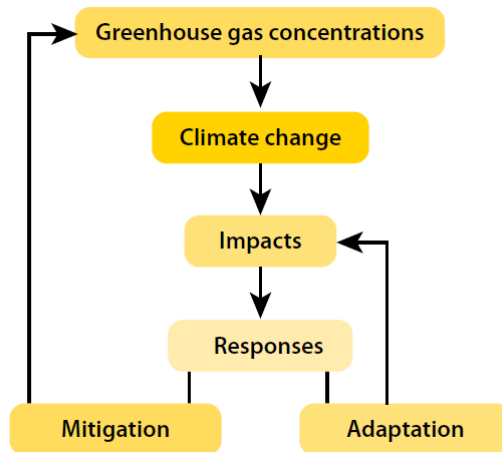
마지막으로 기후 재난들에 대해 대응하는 것도 기후변화 적응정책의 중요한 요소라 할 수 있다(OECD, 2015). 산업화 이래 지구 평균기온은 이미 1℃ 내외로 상승한 상태이기 때문에 여러 국가들에서 실제로 기후변동성으로 인한 기후 재난들을 많이 경험하고 있다(IPCC, 2014). UNFCCC에서도 최빈국을 대상으로 기후 재난에 대한 단기적이고 즉각적인 대비 및 대응을 주요 목적으로 하는 국가적응이행계획(NAPA: National Adaptation Programme of Action) 수립을 지원하고 있다.

3. 감축-적응 연계 가능성 및 필요성

가. 연계 가능성

온실가스 감축과 기후변화 적응은 기후변화의 부정적 영향을 최소화하고 기회요인을 최대화 한다는 궁극적인 목표를 공유한다. 또한 온실가스 감축과 기후변화 적응은 기후 전망 시나리오와 사회경제 시나리오를 공유하며, 효과적으로 목표를 달성하기 위한 역량강화를 공통적으로 필요로 한다. 기후변화에 대한 정보와 교육, 사회간접자본 시설, 소득, 전력, 식량, 깨끗한 물에의 접근성 등이 공통적인 역량에 해당한다고 할 수 있다.

이러한 여러 공통점에도 불구하고 감축과 적응은 앞서 살펴보았듯이 서로 다른 특징을 갖고 있다. 이로 인해 <그림 2-13>에 나타난 바와 같이 기후변화라는 문제에 대한 접근 방식에 있어 온실가스 감축은 원인에 집중하는 반면 기후변화 적응은 결과에 집중해 왔다.



자료: Locatelli(2011), p.1.

<그림 2-13> 감축과 적응

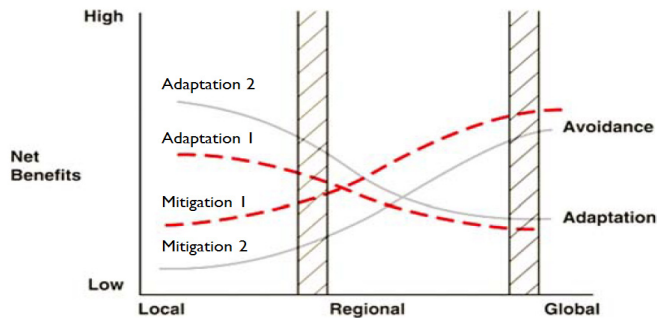
감축과 적응의 차이점은 <표 2-1>과 같이 정리할 수 있다. 이러한 차이점은 앞서 살펴본 감축과 적응의 특징에 기초한 것이다.

〈표 2-1〉 감축과 적응 비교

| 구분 | 감축(Mitigation) | 적응(Adaptation) |
|-------|-------------------|----------------|
| 공간범위 | 전 지구적 단위 | 지역 단위 |
| 시간범위 | 중장기 | 단기 |
| 주요 부문 | 에너지, 산업, 교통, 폐기물 | 물 관리, 건강, 해수면 |
| 연계성 | 농업·산림 부문 연계가능성 높음 | |

자료: Locatelli(2011), p.1.

먼저 공간적으로 감축은 국제적인 편익을 유발하는 반면 적응의 편익은 대체로 지역 수준에 한정된다. 따라서 비용을 제외한 순편익의 경우, 〈그림 2-14〉에서 나타난 바와 같이 적응은 상대적으로 지역 수준에서 높은 데 반해 감축은 상대적으로 지구 수준에서 높다. 이때 감축과 적응의 순편익은 기후변화의 정도에 따라 그 크기가 달라질 수 있으며 지역에 따라서도 달라질 수 있다. 따라서 감축사업과 적응사업이 한정된 예산을 두고 경쟁하는 경우, 지역 수준에서는 감축사업 대신 적응사업을 수행하려는 경향이 높을 수 있다. 모든 나라들이 이와 같은 전략을 취할 경우 기후변화의 정도는 더욱 커질 수 있다. 예를 들어 IPCC의 RCP 4.5 시나리오가 아닌 RCP 8.0 시나리오가 현실이 될 수 있다. 기후변화 적응은 일정 수준의 기후변화까지는 기후변화의 영향을 줄이는 데 기여할 수 있지만 임계점(threshold)을 넘어가게 되면 더 이상 적응만으로는 기후변화의 피해를 막을 수 없다는 점에서 적응의 편익은 감축과 관련된다. 또한 감축과 적응의 연계가 감축사업의 단점을 보완하는 역할을 할 수도 있는데, 실제로 지역수준에서는 온실가스 감축사업을 기피하려고 하는 인센티브의 왜곡을 감축사업과 적응사업을 연계하여 수행함으로써 보완할 수 있다.



자료: Wilbanks et al.(2007), p.723을 토대로 저자 편집.

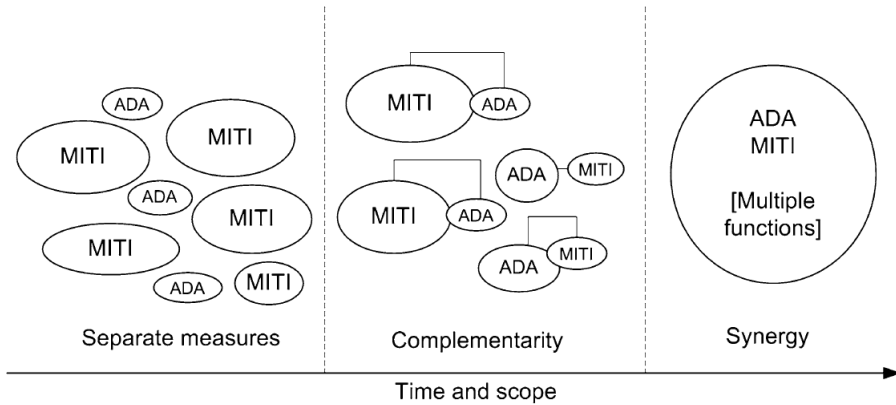
〈그림 2-14〉 감축과 적응의 순편익

지구시스템의 변화는 장기간에 걸쳐 진행된다는 점에서 감축의 효과는 장기간에 걸쳐 일어난다. 반면 적응의 효과는 단기 기후변동성에 대한 대비와 대응을 포함한다는 점에서 단기간에도 발생할 수 있다. 이러한 점에서 감축과 적응 사업의 연계는 기후변화 대응의 시간적 효과를 적절히 분배하는 역할도 수행한다.

감축과 적응의 특성상 감축이 주요한 분야와 적응이 주요한 분야가 다를 수 있다. 대체로 감축의 경우 에너지, 수송, 산업, 폐기물이 주요한 분야이며, 적응에서는 수자원, 보건, 연안 및 저지대 등이 주요한 분야가 된다. 공통적으로 중요한 분야로는 농업과 산림 등이 있다. 따라서 감축-적응 연계전략은 개별 분야별 특성을 고려하여 단계별로 작성할 필요가 있다.

나. 감축-적응 연계효과 및 필요성

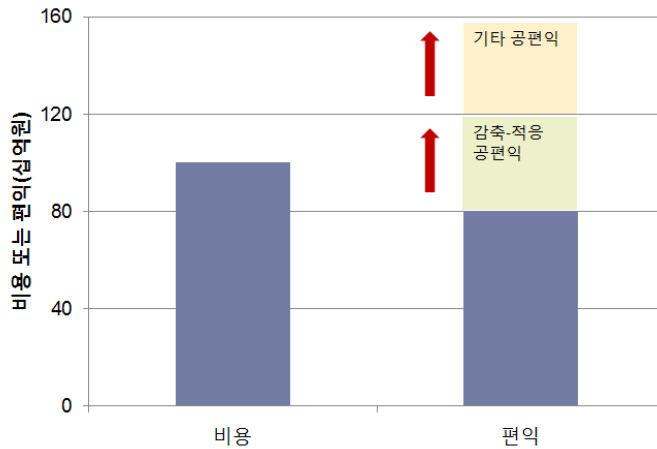
온실가스 감축과 기후변화 적응을 연계했을 때 기대할 수 있는 가장 중요한 효과는 주어진 예산 제약 하에서 최적의 정책조합을 구성할 수 있다는 점이다. <그림 2-15>에서 가장 왼쪽에 있는 것처럼 개별 사업을 독자적으로 진행할 경우에는 상쇄효과(trade off)가 발생할 수 있다. 예를 들어, 적응사업을 수행하는 과정에서 에너지다소비 시설을 설치하여 간접적으로 온실가스 배출을 증가시킬 수 있다. 또한 감축사업을 위해 재생가능에너지를 설치하는 과정에서 산림을 파괴하여 생태계의 적응기능을 훼손하는 경우도 있을 수 있다. 이러한 경우 감축사업과 적응사업을 연계하거나 사업이 진행될 지역의 통합적 기능을 고려하여 사업을 설계한다면 상쇄효과를 최소화할 수 있다. 또한 감축과 적응을 연계할 경우 상호작용을 통해 공편익(co-benefit)이 발생할 수 있다. 예를 들어, 온실가스 흡수원으로서 산림을 조성하거나 경영할 경우 산림의 수자원 보호 기능(적응의 요소)이 높아질 수 있다. 아래 그림에서 강조하는 것처럼 감축과 적응을 연계하여 사업을 설계하거나 시스템 내에서 통합적 기능을 고려하여 사업을 설계한다면 공편익 또는 시너지(synergy) 효과를 얻을 수 있다.



주: MITI는 온실가스 감축, ADA는 기후변화 적응을 의미함
 자료: Duguma, L. et al.(2014), p.425.

〈그림 2-15〉 감축-적응 연계

또한 감축-적응 연계는 개별 사업의 타당성을 높여 전체적으로 사회적 후생을 극대화하는데 도움을 줄 수 있다. 예를 들어, 〈그림 2-16〉에서처럼 1,000억 원이 소요되는 적응사업에서 적응 효과만으로 인한 편익이 800억 원이라고 하면 이 사업은 타당성이 낮아 시행되기 어렵다. 그러나 적응사업 과정에서 산림조성 등을 통해 온실가스 흡수원이 증가하고 이로 인한 추가된 온실가스 감축량이 화폐가치로 400억 원 정도라고 하면 이 사업의 총 편익은 1억 2,000억 원으로 늘어날 수 있다. 이에 더해 대기오염 감소 등 추가적인 공편익까지 고려한다면 이 사업의 경제적 타당성은 더욱 커질 수 있다. 온실가스 흡수를 제외한 기타 공편익이 예를 들어 400억 원이라고 하면, 이러한 적응사업을 수행함으로써 사회는 600억 원의 순편익(적응편익 800억원+공편익의 800억원-비용 1000억원)을 거둘 수 있게 된다.



〈그림 2-16〉 감축-적응 연계 경제성 평가 예시

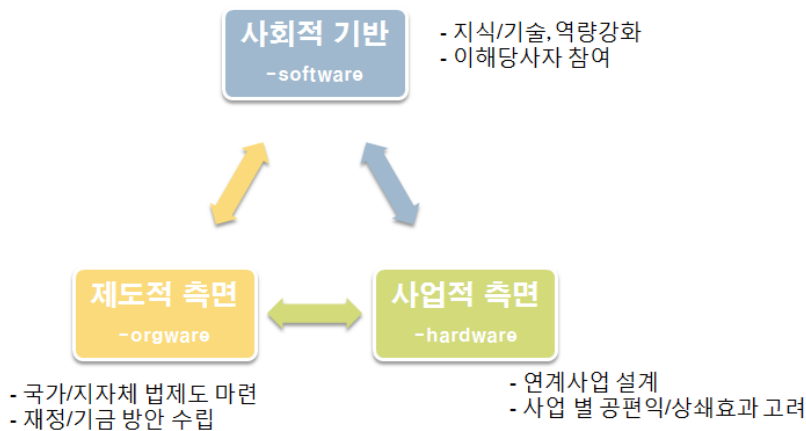
온실가스 감축사업은 기후변화 적응을 필요로 한다. 변화하는 기후환경에서 감축사업의 수익성을 지속적으로 유지하려면, 지역 또는 시스템의 기후변화 취약성을 검토하고 변화하는 기후환경에 대한 적응계획을 수립해야 한다. 기후변화로 인해 물리적으로 감축사업을 지속하기 어려운 경우도 발생할 수 있기 때문이다.

반대로 기후변화 적응사업은 온실가스 감축을 필요로 한다. 기후변화 적응사업은 편익 산출이 어려워 시장기제가 작동하기 어렵고 이로 인해 민간의 참여가 부족하기 때문에 예산을 확보하기 어려운 경우가 많다. 그러나 기후변화 적응사업을 온실가스 감축과 연계하면 온실가스 감축이라는 추가적인 효과가 더해지기 때문에 예산확보 가능성이 더 높아지게 된다. 또한 적응사업의 경우 수익성이라는 측면에서 사업 예산의 지속적인 투입이 불확실할 수 있는데, 감축사업과 연계할 경우 이러한 재정 리스크도 일정 부분 줄일 수 있다. 이렇듯 적응사업은 감축사업과의 연계를 통해 경제적 타당성을 높일 수 있다.

제3장 | 감축-적응 연계전략

1. 개요

온실가스 감축-기후변화 적응 연계의 목표는 ‘기후변화의 부정적 영향을 최소화하고 기회요인을 최대화’하는 것이라고 할 수 있다. 이러한 목표 하에 온실가스 감축과 기후변화 적응을 효과적으로 연계하기 위해서는 사업 수준에서의 감축-적응 연계 가능성 뿐 아니라, 제도와 사회적 기반 측면을 모두 고려해야 한다. 이러한 점에서 이 연구에서는 온실가스 감축-기후변화 적응 연계전략을 <그림 3-1>과 같이 사회적 기반으로서의 지식과 기술, 참여(software), 제도적 측면으로서의 법률, 계획 및 조직(orgware), 사업적 수준에서의 연계(hardware) 등으로 구분하여 제시하였다. 제3장에서는 감축-적응 연계전략의 큰 틀을 제시하고, 제4장에서는 세부 부문별로 대표적인 사례를 중심으로 구체적인 방안을 살펴볼 것이다.



<그림 3-1> 감축-적응 연계 전략

2. 사회적 기반

가. 지식과 기술

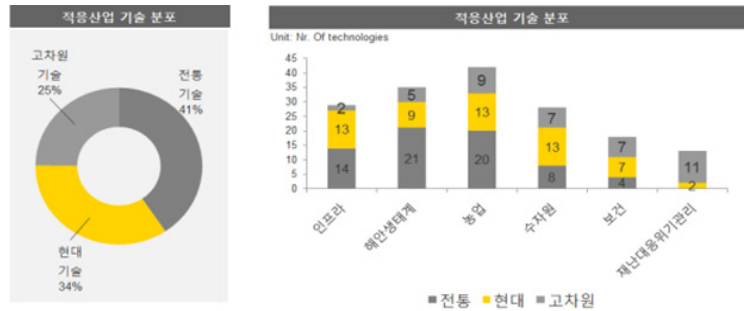
기후변화와 관련한 지식과 기술은 다음과 같이 유형화할 수 있다. 우선 형태에 따라서는 유형의 하드웨어(hardware), 무형의 소프트웨어(software), 제도(orgware)로 구분할 수 있다. 구체적인 예로서 기후변화 적응과 관련한 부문별 유형은 <표 3-1>과 같다. 효과적인 기후변화 대응을 위해서는 유무형의 기술과 지식, 제도 등의 조화가 필요하다.

<표 3-1> 기후변화 적응 기술유형

| 구분 | 하드웨어(Hardware) | 소프트웨어(Software) | 제도(Orgware) |
|----------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| 농업 | 내재해성 작물 | 작물 관련 연구 | 농업관련 지역 기관 |
| 물 관리 | 연못, 우물, 저수지, 빗물 활용 기술 | 물 사용의 효율성 및 재사용 | 수도 사용자 협회, 적정 수도가격 |
| 해안지역 | 제방, 방파제 | 해수면 노출지역 취약성 저감 계획 | 건축 관련 법률, 사전경보시스템, 보험 |
| 건강 | 백신, 수질관리 기술 및 위생 | 도시계획, 건강 및 위생교육 | 건강 관련 법률 |
| 사회 기반 시설 | 친환경 건물, 도로 | 관련 지식 공유 및 전수 | 건축 관련 법률 및 기준 |

자료: UNEP(2011), p.10.

기후변화 관련 지식과 기술은 지식과 기술이 발달되어 온 순서에 따라 전통기술, 현대기술, 미래기술로 구분할 수 있다. 구체적인 예로서 UNFCCC(2009)는 기후변화 적응과 관련한 기술 유형을 부문별로 제시한 바 있다. 기술과 관련하여 다른 분야와 구별되는 기후변화 적응의 특징 중 하나는 <그림 3-2>에 제시된 것처럼 여전히 전통지식과 기술이 활발히 활용되고 있다는 점이다. 전통기술에 대한 보다 자세한 내용은 4장에서 다룰 것이다.



자료: UNFCCC(2009)를 재정리한 EY한영(2016).

〈그림 3-2〉 기후변화 적응 기술 분류

기후변화에 대한 대응방식은 대응 시점에 따라 사후적 대응(responsive) 방식과 사전적 예방(anticipatory) 방식으로 구분할 수 있다. 관련하여 기후변화 지식 및 기술은 장래에 발생할 수 있는 기후변화로 인한 피해를 사전에 예방하기 위한 기술과 기후변화로 인해 발생한 피해를 사후적으로 대처하는 기술로 구분할 수 있다(UNFCCC, 2006). 이때 사전적 예방 기술과 사후적 대처 기술에는 2장에서 기술하였듯이 폭염, 폭우, 폭설, 가뭄 등 단기적 기후변동성(climate variability)으로 인해 발생하는 피해에 대한 대응 지식 및 기술도 포함된다.

기후변화에 효과적으로 대응하기 위해서는 앞서 살펴본 여러 가지 기술 목록을 분석하여 홍수, 가뭄, 폭염, 해수면 상승 등 기후변화 위험 요소별로 가장 효과적이고 경제적인 기술을 선택할 수 있어야 한다. 특정 기술 요소 하나만을 적용하여 대응 가능한 기후변화 위험요소는 거의 없기 때문에 분석된 기술 목록에 따라 적절한 조합을 구성하여 적용할 필요가 있다. 예를 들어 홍수라는 리스크에 대비하기 위해서는 홍수의 가능성을 전망하고 지역의 특성에 따라 통합수자원관리 시스템을 구축하고(software), 유역관리 또는 배수시스템 관리를 위한 물리적 기술 요소를 적용하고(hardware), 홍수 대비 계획을 수립하고 재난 대응절차를 마련하며 관련 전담 조직을 설치하고 운영해야 한다(orgware). 또한 홍수관리를 위한 기술 도입을 계획할 경우 지역 특성에 대한 지역주민의 지식을 참고하고 활용하며(전통지식), 현재 개발되어 활용되고 있는 기술 요소들 중에서 비용효과적인 기술을 도입하고(현대기술), 보다 효과적인 기술을 개발할 수 있도록 지원하는 과정이 필요하다(고차원기술). 또한 보험, 기상정보시스템 등 사전에 홍수에 대해 대비하기 위해 필요한 방법(사전적 대응) 뿐 아니라, 붕괴된 건물, 유입된

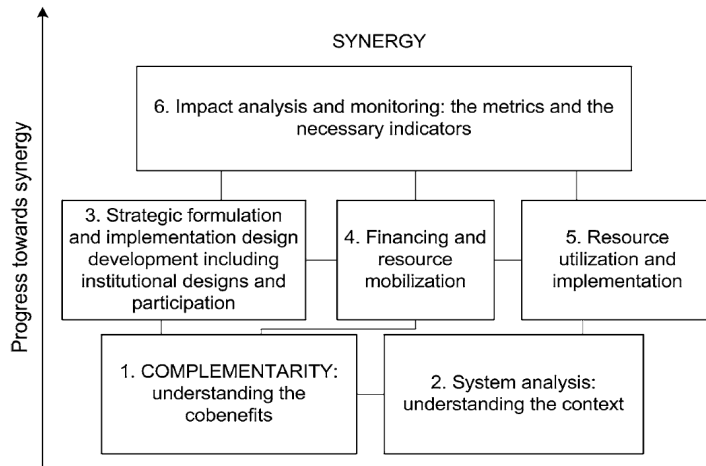
토사, 인명피해 등에 대한 복구 및 회복을 위한 방법(사후적 대응)도 마련하고 있어야 한다.

이처럼 기후변화는 다양한 사회-경제-생태적인 요소와 맞물려 있는 현상이기 때문에 다양한 기술요소와 지식, 경험들을 활용하여 종합적으로 접근하는 것이 필요하다. 이처럼 기후변화에 대응하기 위한 기술의 수준과 특성이 다양하기 때문에 기술별 특성에 맞는 다양한 기술개발 및 보급 전략을 사용해야 한다. 예를 들어 전통지식의 경우 산업화 이후 잊혀져가고 있는 것이 많기 때문에 우선 지역사회가 보유하고 있는 전통지식의 종류와 내용을 조사하여 목록화하는 것이 필요하다. 현대기술은 대부분 시장에서 이미 거래되고 있는 것들이기 때문에 가용한 기술 목록을 데이터베이스(DB)화하여 개별 기술의 비용과 효과를 정리할 필요가 있다. 이를 통해 개별 기술목록의 비용효과성을 비교할 수 있어 자연스럽게 경쟁력이 높은 기술이 시장에서 선택되도록 도울 수 있다. 고차원 기술은 대체로 현재로서는 높은 비용 때문에 경쟁력이 없지만 잠재적 효과성이 높은 것들이라는 점에서, 효과를 검증하고 비용을 낮출 수 있도록 연구개발, 실증, 시범사업을 단계적으로 지원할 수 있다.

나. 이해당사자 참여

감축-적응 연계와 관련하여 사업을 수행하고 평가하는 일련의 과정들에서 이해당사자의 참여는 성과 확산과 사업의 지속 가능성 측면에서 중요한 역할을 한다. 또한 사업에 참여하는 이해당사자들의 역량이 높을수록 감축-적응 연계 사업의 성과는 더욱 커질 수 있다.

감축-적응 연계 사업의 실행 절차는 <그림 3-3>과 같이 구분할 수 있다. 연계 사업을 수행하기 위해서는 먼저 사업을 통해 기대할 수 있는 공편익을 분석해야 한다. 발생할 수 있는 공편익의 정도는 사업의 규모를 결정하는 데 있어 중요한 정보가 될 수 있다. 공편익을 파악한 후에는 사업이 시행되는 지역(시스템)의 특성을 분석해야 한다. 동일한 사업이라도 시행되는 지역에 따라 사업의 성과는 달라질 수 있기 때문이다. 공편익과 시스템을 분석한 후에는 구체적으로 사업을 설계하는 단계가 필요하다. 이 단계에서는 사업의 전략을 세우고 구체적인 사업 수행 절차를 마련해야 한다. 사업전략을 구체화한 후에는 재원을 마련하고 실제로 사업을 수행하는 단계를 거치게 된다. 사업을 수행한 후에는 사업 시작 전 분석한 사업의 기대효과(공편익 포함)와의 비교를 통해 사업의 성과를 점검하고, 목표를 달성한 정도와 전략에 따라 사업을 수행했는지 여부 등에 대해 평가하는 단계가 필요하다.



자료: Duguma, L. et al.(2014), p.427.

〈그림 3-3〉 감축-적응 연계 프로세스

이론적으로 이해당사자는 위의 모든 단계에서 참여할 수 있다. 구체적으로 이해당사자는 공편익을 분석하고 지역사회 특성을 분석하는 단계에 참여할 수 있다. 특히 사업이 시행될 지역의 주민들은 이러한 과정에서 유용한 정보를 제공할 수 있다. 일반적으로 지역의 특성에 대한 이해는 지역사회 구성원이 가장 높기 때문이다. 사업의 목표를 정하고 구체적인 실행전략을 수립하는 단계에서도 이해당사자의 참여는 필수적이다. 또한 사업을 실제로 수행하는 단계와 사업의 결과를 평가하는 단계에서도 이해당사자들이 참여할 수 있다. 예를 들어 지역사회 주민들은 사업이 실행되는 지역에 거주하고 있기 때문에 사업 전후의 성과를 비교하기 위한 유용한 정보를 갖고 있을 것이며, 사업을 수행하는 과정에서도 실제로 유의미한 참여를 할 수 있을 것이다. 이러한 과정에서 이해당사자들은 사업이 시스템 내에서 최적의 효과를 달성할 수 있도록 도울 수 있다. 또한 사업의 수익이 지역사회에 일정 부분 환원되도록 하면, 지역사회의 소득을 높일 수도 있어 역량강화의 측면에서도 도움이 된다. 사업에 참여하는 과정에서 지역 주민들은 여러 가지 기술과 정보를 습득할 수도 있을 것이다. 4장에서 제시하겠지만 호주에서는 지역사회의 전통지식을 활용하여 산림을 관리할 뿐 아니라, 지역 사회 주민들이 직접 산림관리 요원으로 활동하고 있다. 또한 사업 수익의 일부는 지역사회에 환원하고 있다.

3. 제도적 측면

가. 기후변화 관련 법정 계획

온실가스 감축-기후변화 적응 연계 사업이 활성화되기 위해서는 기후변화 관련 법정 계획에 감축과 적응의 연계에 관한 내용이 포함되어야 한다. 공적 부문에서 온실가스 감축과 기후변화 적응의 연계성을 강조하고 제도화하는 것은 사업 수행에 있어 리스크를 줄여주어 안정적인 사업 수행을 도울 수 있다. 구체적으로 법정계획에서 감축-적응 연계를 언급함으로써 감축-적응연계 사업의 예산을 보다 안정적으로 확보할 수 있다.

관련된 해외사례로서 IPCC의 경우 4차보고서(IPCC, 2007)에서는 감축과 적응의 연계에 관한 별도의 장(chapter)을 포함하고 있으며,¹⁷⁾ 5차보고서(IPCC, 2014)에서는 에너지, 산림, 농업 등 분야별 장에서 공편익을 비롯해 감축-적응 연계에 관한 내용을 <그림 3-4>에서 제시한 예와 같이 포함시키고 있다. 캐나다의 경우에는 천연자원부(Natural Resources Canada)에서 에너지 부문에 대한 감축과 적응 연계전략 보고서를 발간하였다(NRC, 2015). 멕시코의 경우 자연보호에 관한 국가 보고서에서 감축과 적응의 연계를 강조하였다(Locatelli, 2011).

17) IPCC(2007a), "Inter-relationships between adaptation and mitigation", Chapter 18, WG2 report to FAR of IPCC.

Table TS.4 Overview of potential co-benefits (green arrows) and adverse side-effects (orange arrows) of the main mitigation measures in the energy supply sector; arrows pointing up/down denote a positive/negative effect on the respective objective or concern; a question mark (?) denotes an uncertain net effect. Co-benefits and adverse side-effects depend on local circumstances as well as on the implementation practice, pace, and scale. For possible upstream effects of biomass supply for bioenergy, see Table TS.8. For an assessment of macroeconomic, cross-sectoral effects associated with mitigation policies (e.g., on energy prices, consumption, growth, and trade), see e.g., Sections 3.9, 6.3.6, 13.2.2.3 and 14.4.2. The uncertainty qualifiers in brackets denote the level of evidence and agreement on the respective effects (see TS.1). Abbreviations for evidence: l=limited, m=medium, r=robust; for agreement: l=low, m=medium, h=high. [Table 7.3]

| Energy Supply | Effect on additional objectives/concerns | | | |
|---|--|---|---|---|
| | Economic | Social | Environmental | Other |
| Nuclear replacing coal power | ↑ Energy security (reduced exposure to fuel price volatility) (m/m) ↑ Local employment impact (but uncertain net effect) (l/m) ↑ Legacy cost of waste and abandoned reactors (m/h) | ↓ Health impact via Air pollution and coal mining accidents (m/h) ↑ Nuclear accidents and waste treatment, uranium mining and milling (m/l) ↑ Safety and waste concerns (r/h) | ↓ Ecosystem impact via Air pollution (m/h) and coal mining (l/h) ↑ Nuclear accidents (m/m) | Proliferation risk (m/m) |
| RE (wind, PV, concentrated solar power (CSP), hydro, geothermal, bioenergy) replacing coal | ↑ Energy security (resource sufficiency, diversity in the near/medium term) (r/m) ↑ Local employment impact (but uncertain net effect) (m/m) ↑ Irrigation, flood control, navigation, water availability (for multipurpose use of reservoirs and regulated rivers) (m/h) ↑ Extra measures to match demand (for PV, wind and some CSP) (r/h) | ↓ Health impact via Air pollution (except bioenergy) (r/h) ↓ Coal mining accidents (m/h) ↑ Contribution to (off-grid) energy access (m/l) ? Project-specific public acceptance concerns (e.g., visibility of wind) (l/m) ↑ Threat of displacement (for large hydro) (m/h) | ↓ Ecosystem impact via Air pollution (except bioenergy) (m/h) ↓ Coal mining (l/h) ↑ Habitat impact (for some hydro) (m/m) ↑ Landscape and wildlife impact (for wind) (m/m) ↓ Water use (for wind and PV) (m/m) ↑ Water use (for bioenergy, CSP, geothermal, and reservoir hydro) (m/h) | Higher use of critical metals for PV and direct drive wind turbines (r/m) |
| Fossil CCS replacing coal | ↑↑ Preservation vs. lock-in of human and physical capital in the fossil industry (m/m) | ↑ Health impact via Risk of CO ₂ leakage (m/m) ↑ Upstream supply-chain activities (m/h) ↑ Safety concerns (CO ₂ storage and transport) (m/h) | ↑ Ecosystem impact via upstream supply-chain activities (m/m) ↑ Water use (m/h) | Long-term monitoring of CO ₂ storage (m/h) |
| BECCS replacing coal | See fossil CCS where applicable. For possible upstream effect of biomass supply, see Table TS.8. | | | |
| Methane leakage prevention, capture or treatment | ↑ Energy security (potential to use gas in some cases) (l/h) | ↓ Health impact via reduced air pollution (m/m) ↑ Occupational safety at coal mines (m/m) | ↓ Ecosystem impact via reduced air pollution (l/m) | |

자료: IPCC(2014), p.72.

〈그림 3-4〉 에너지부문 감축정책의 공편익

나. 영향평가/사업 타당성 검토 제도 활용

온실가스 감축과 기후변화 적응을 효과적으로 연계하기 위해서는 개별 사업의 영향평가 또는 사업 타당성 검토 시, 온실가스 감축과 기후변화 적응의 효과를 평가할 수 있도록 제도를 마련할 필요가 있다. 구체적으로 감축사업 또는 적응사업의 경우, 타당성 검토 시 공편익 또는 상쇄효과를 분석하도록 권고하고 추후에는 이를 의무화할 필요가 있다.

예를 들어, 감축사업의 하나로 신재생에너지를 포함한 신규발전소를 건설하기 위해 부지를 선정할 때 기술경제성 평가 항목에 감축 또는 적응의 공편익과 상쇄효과를 포함하도록 할 수 있다. 또한 사업의 타당성 검토 시 시설의 기후변화 취약성 평가를 의무화하고 기후변화에 대한 적응 방안을 수립하도록 할 수 있다.

또 다른 예로서 적응사업의 하나로 유역 침식방지를 위해 녹지 또는 숲을 조성하는 사업을 할 경우, 녹지조성사업의 기술경제성 평가 시 감축과 적응의 공편익 및 상쇄효과를 산출하고 이를 반영하도록 해야 한다. 구체적으로 타당성 평가 시 조성된 녹지 또는 숲으로 인한 적응 편익(지역사회 취약성 약화, 기후회복성 강화 등), 탄소흡수효과(감축-적용 공편익), 지역사회 개발 효과(기타 공편익) 등을 모두 고려해야 한다. 또한 녹지 또는 숲 자체의 기후변화 취약성을 평가하고 적응 방안을 수립하도록 해야 한다.

다. 자원 마련

이제까지 기후 기금의 투자는 주로 온실가스 감축 사업에 집중되어 왔다. 그러나 최근에는 파리협정 등 국제협약에서 감축과 적응의 균형을 강조하고, 녹색기후기금(GCF: Green Climate Fund) 등 국제 기후변화 기금에서 감축과 적응에 대한 예산 재조정의 필요성을 강조하고 있다(GCF, 2014).

감축과 적응을 효과적으로 연계하기 위해서는 재정적 측면도 고려해야 한다. 이를 재정적 측면에서의 감축-적용 연계라고 말할 수 있다. 재정적 측면에서 감축-적용 연계의 구체적인 예로는 감축사업을 수행하는 과정에서 발생하는 수익의 일부를 적응사업을 위한 기금으로 적립 활용하는 방안을 생각할 수 있다. 국내에서는 향후 배출권 거래제도에서 발생하는 수익(예를 들어, 배출권 유상 할당 시 발생하는 수익)의 일부를 적응 기금으로 조성하는 방안을 고려할 수 있다. 이렇게 적립한 적응기금은 지자체의 기후변화 적응사업을 지원하고 기업의 기후변화 적응활동에 대한 인센티브를 제공하는 용도로 사용할 수 있다. 또한 파리협정에서 강조하고 있듯이 기후변화에 취약한 개발도상국가에 대한 기후변화 적응사업 지원에도 기금의 일부를 사용할 수 있다.

해외에서도 재정적 측면에서 감축과 적응을 연계한 사례를 발견할 수 있다. 대표적으로 UNFCCC의 적응기금(Adaptation Fund)의 경우 CDM 사업에서 발생하는 상쇄권(CER: Certified Emission Reduction) 거래 수익의 2% 정도를 수수료 형태로 거둬 적응기금으로 조성하고 있다. 2015년까지 적립된 적응기금의 약 36%는 CER 발행 수수료가 차지하고 있다(Adaptation Fund, 2016).

캐나다 앨버타 주에서는 자체적으로 기후변화배출관리기금(CCEMF: Climate Change and Emissions Management Fund)을 운영하고 있는데, 해당 기금에서 조성된 자금은 온실가스 감축사업과 기후변화 적응사업에 사용되고 있다. 기금은 주 정부가 정한 온실가스 감축목표(연간 10만 톤 이상 온실가스 배출업체의 경우 BAU 대비 배출원 단위 12% 감소)를 달성하지 못한 기업들이 내는 벌금(15달러/톤)으로 적립되고 있다. 앨버타 주는 이러한 제도를 통해 매년 BAU 대비 700만 톤의 온실가스를 감축하고 있으며, 적립된 CCEMF 기금은 약 5억 달러이다(NRC, 2015). CCEMF 기금을 통해 이뤄지고 있는 사업들의 예는 <표 3-2>와 같다.

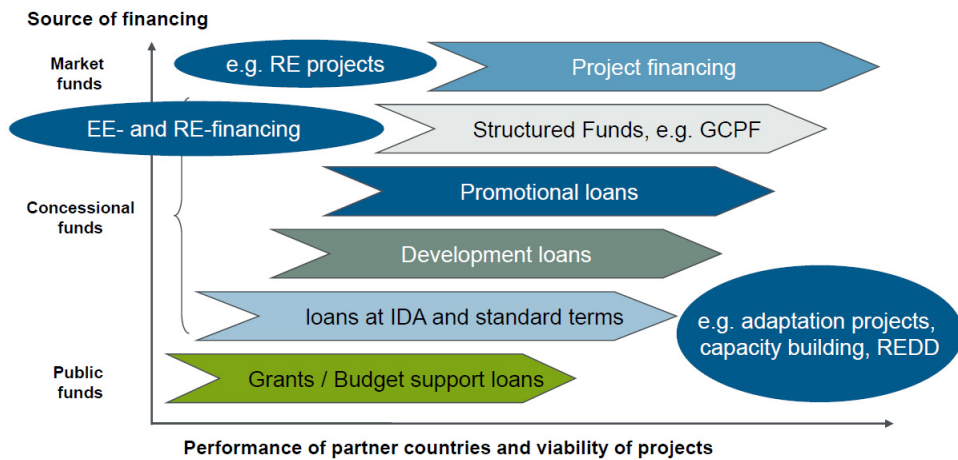
<표 3-2> 캐나다 앨버타 주 CCEMF 기금 활용 사례

| 온실가스 감축 프로젝트 | | | | |
|--------------|---|-------------|---|--------------|
| 사업유형 | 전담기관 | CCEMC 펀드 | 사업명 | 총사업비 |
| 신재생에너지 | Suncor Energy Inc. | 9,201,063달러 | Wintering Hills Battery Storage Pilot Project | 18,410,000달러 |
| 에너지 효율향상 | Devon Energy | 1,951,581달러 | Organic Rankine Cycle Waste Heat Recovery project | 5,850,000달러 |
| 기후변화 적응 프로젝트 | | | | |
| 사업유형 | 전담기관 | CCEMC 펀드 | 사업명 | 총사업비 |
| 산림 관리 | Foothills Research Institute / Tree Improvement Alberta | 3,000,000달러 | Tree Species Adaptation Risk Management | 3,000,000달러 |
| 생물다양성 | Alberta Biodiversity Monitoring Institute | 2,400,000달러 | Biodiversity Management and Climate Change Adaptation | 2,400,000달러 |
| 취약성 평가 및 적응 | Alberta Innovates Energy and Environment Solutions | 1,600,000달러 | SSRB Adaptation to Climate Vulnerability Project | 2,400,000달러 |

자료: NRC(2015), pp.43-44.

라. 사업 수행기구 설립

기후변화 기금을 마련할 경우 기금의 조성, 관리, 투자 역할을 수행할 수 있는 전담기구를 설립할 필요가 있다. 이때 하나의 기구에서 감축사업과 적응사업을 동시에 추진한다면 감축사업과 적응사업의 연계가 현실적으로 더 수월해질 수 있다. 일례로 독일에서는 연방 개발은행인 KfW(Kreditanstalt FÜR Wiederaufbau)에서 온실가스 감축과 기후변화 적응사업을 동시에 수행하고 있다. KfW의 기후변화 및 환경사업 예산은 2014년의 경우 약 7.4억 유로였으며 매년 증가하고 있다. KfW는 2014년 예산의 절반 정도(47%)를 감축사업에 사용했으며, 적응사업에 사용한 예산은 약 13%였다(Harnisch, 2015). 한편, KfW에서 사용하는 기금은 <그림 3-5>에 나타난 바와 같이 공공과 민간의 투자금 등으로 조성된다.



자료: Harnisch(2015), p.6.

<그림 3-5> 독일 KfW 기금 조성

국내에서는 국책은행(예를 들어, 수출입은행) 또는 환경부 산하기관에서 기후변화 기금을 조성하고 관리하며 사업을 집행하도록 하는 것이 하나의 방안이 될 수 있다.¹⁸⁾ 사업은 국내사

18) 참고로 한국 수출입은행에서는 EDCF(Economic Development Cooperation Fund)라는 대외원조 정책기금을 관리하고 있다. 2014년까지 5,672억 원을 집행하였으며 교통, 수자원, 보건, 에너지 분야 순으로 지원했다. EDCF 기금의 90% 이상은 정부 출연금으로 조성되고 있으며, 기획재정부가 기금운용관리주체로 지정되어

업과 국외사업으로 나누어 진행할 수 있다. 국내사업의 경우 감축 및 적응 기술 개발 및 보급, 감축사업 지원, 지자체 적응사업 지원, 민간기업 기후변화 적응 인센티브 제공 등에 활용할 수 있다. 해외사업의 경우 저개발 국가의 기후변화 적응사업 지원 등이 포함될 수 있다. 이를 위해서는 기금에 관한 법률을 제정해야 하며 기금의 운영을 관리할 운영이사회 또는 위원회를 설립해야 한다. 운영이사회는 구체적인 기금의 지원 사업을 선정하고 예산을 배분하며 기타 기금 운영에 관한 일반사항을 결정하는 역할을 수행한다. 또한 지원사업의 신청 및 심사 절차를 마련하고 모니터링 및 입증(MRV) 절차 등도 마련해야 한다.

4. 사업적 측면

가. 감축 중심 분야

제2장에서 살펴보았듯이 감축이 중요한 분야로는 에너지, 수송, 산업, 폐기물 분야가 있다. 변화하는 기후환경에서 감축사업의 수익성을 유지하기 위해서는 개별 사업에 대한 기후변화 적응대책이 필요하다. 또한 감축사업은 해당 사업이 놓이게 될 토지와 생태계를 통해 지역사회의 기후변화 적응에 간접적으로 영향을 미치게 된다. 따라서 이들 분야에서는 개별 사업의 기후변화 취약성을 검토하고 적응방안을 수립하여 공편의 발생을 유도할 필요가 있다. 개별 사업이 지역사회의 기후변화 적응에 미치는 영향을 검토하여 이를 통해 상쇄작용을 최소화하고 공편익을 최대화하도록 해야 한다. 아래에서는 이러한 전략을 적용할 수 있는 몇 가지 사례를 살펴본다.

1) 신규 재생가능에너지 발전소 입지 선정

온실가스 감축을 위해 신규로 재생가능에너지 발전소를 설치할 경우, 발전소가 설치될 부지의 기후변화 취약성을 검토해야 한다. 예를 들어 <그림 3-6>과 같이 임야에 태양광 시설을 설치할 경우, 폭우로 인한 산사태 등의 가능성 등을 사전에 충분히 검토해야 한다. 발전소

있다(<http://www.edcfkorea.go.kr>, 검색일: 2016.4.20).

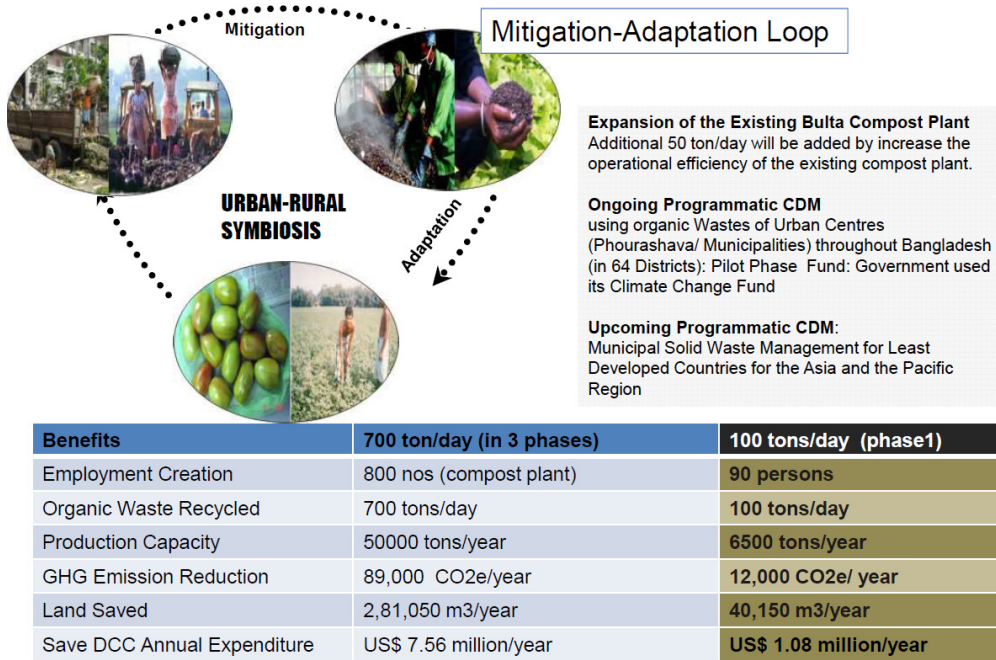
부지 관리 및 기후변화 취약성을 평가할 때 지역사회의 전통지식을 수집하고 활용할 수 있을 것이다. 적응방안으로는 산사태 대비 조림사업이 있을 수 있으며 이를 통해 흡수원이 증가하고 숲의 생태적 기능이 추가되는 등 공편익을 얻을 수 있다. 발전소 수익의 일부를 지역사회에 환원하거나 기후기금을 적립하는 방향으로 설계한다면 지역주민의 참여를 유도할 수 있어 더욱 긍정적이라 할 수 있다.



〈그림 3-6〉 태양광 발전 시설

2) 유기성 폐기물 처분

유기성 폐기물은 무기성 폐기물에 비해 생태계에 미치는 영향이 더욱 크기 때문에 엄격한 관리가 필요하다. 또한 방치할 경우 분해되는 과정에서 메탄(CH_4) 등 온실가스가 배출될 수 있어 온실가스 배출원 관리라는 측면에서도 중요하다. 최근에는 유기성 폐기물 처분장을 건설 시 온실가스 배출을 관리하며(감축), 잔재물을 농지에 비료처럼 활용함으로써 토양의 생산성을 높이는(적응) 사례들이 증가하고 있다. 〈그림 3-7〉에 제시한 사례에서처럼 이러한 사업을 통해 지역사회의 소득이 증가하고, 위생 여건이 개선되는 등 적응 역량이 강화될 수 있다(Ayer and Huq, 2009).



자료: Sinha(2012), p.9.

〈그림 3-7〉 유기성 폐기물 처분 사업 사례

3) 옥상녹화

건물부문의 에너지소비는 도시 에너지소비 증가의 중요한 원인이 되고 있다. 런던과 서울을 비롯한 대도시의 온실가스 감축 정책의 많은 부분은 건물 에너지수요관리 정책에 의존하고 있다(서울시, 2015). 이와 관련하여 자주 거론되는 정책수단으로 옥상녹화가 있다. 옥상녹화를 통해 건물의 열 부하를 줄이고 에너지 효율을 높일 수 있으며 온실가스를 흡수할 수 있다. 또한 옥상녹화에 사용되는 식물들은 우수를 저장하고 생물의 서식지를 제공하는 등의 기후변화 적응기능을 수행할 수 있다. 또한 도시열섬효과를 억제하는 효과도 기대할 수 있다. 스위스 바젤의 경우 기후변화 대응을 위한 주요 사업 중 하나로 옥상녹화를 시행하고 있으며, 〈그림 3-8〉에서처럼 1990년대 후반 이후 옥상녹화 사업 건수가 폭발적으로 증가하고 있다.



Figure 2: A traditional roof (left) and a green roof (right). Green roofs provide rainwater storage and heat absorption, resulting in reduced strain on conventional stormwater infrastructure and more insulation from incoming solar radiation.⁵¹

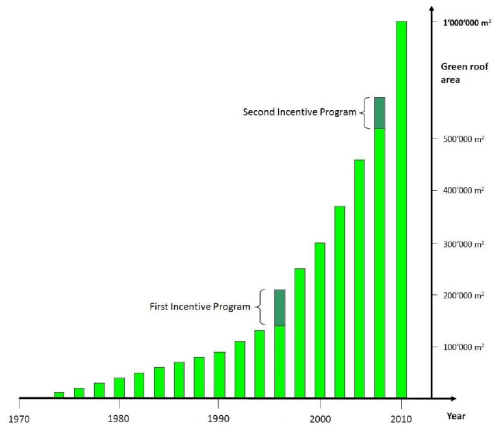


Figure 1: Graph depicting green roof growth (m²) in Basel, Switzerland from 1970 to 2010; including the first and second green roof subsidy programs held by the city in 1996 and 2005, respectively.⁵⁰

자료: NRC(2015), pp.73-74.

〈그림 3-8〉 스위스 바젤 옥상녹화 사업

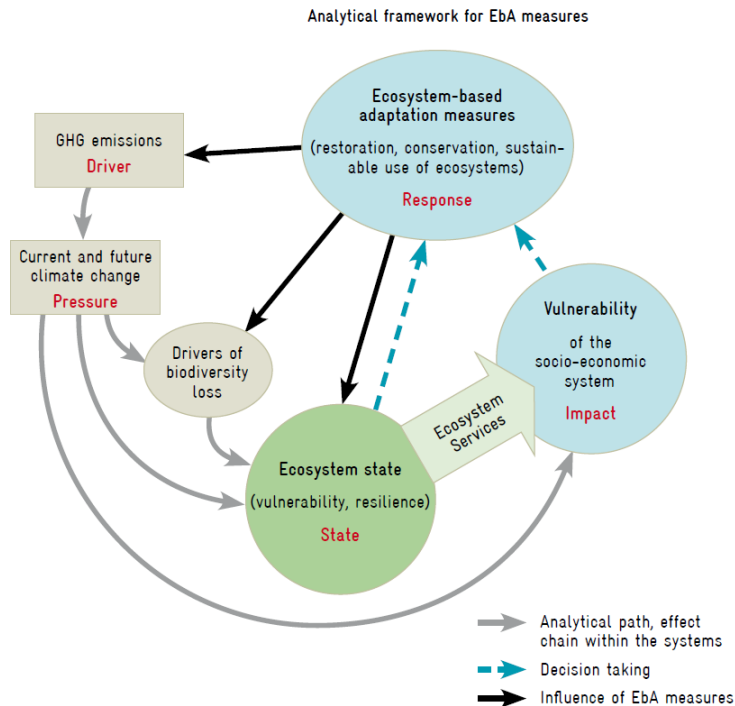
나. 적응 중심 분야

제2장에서 살펴보았듯이 적응이 중심이 되는 분야로는 수자원, 건강, 연안 및 저지대 분야가 있다. 이러한 분야에서는 개별 사업이 온실가스 배출에 미치는 영향을 검토하고 이를 통해 상쇄효과를 최소화하고 공편익을 최대화할 필요가 있다. 또한 적응사업의 경우에도 기후변화에 대한 취약성을 검토하고 적응방안을 수립해야 한다.

적용사업과 온실가스 감축의 관계를 보여주는 대표적인 예로 생태기반 적응정책(EbA: Ecosystem based Adaptation)이 있다. 생태기반 적응정책은 〈그림 3-9〉가 나타내는 것처럼 생태계 서비스를 활용하여 기후변화 적응을 효과적으로 달성하려는 정책이라고 할 수 있다 (CBD, 2009). EbA는 생태계 서비스를 활용한 적응정책이므로, 생태계를 조성하거나 관리한다는 측면에서 온실가스 흡수원의 유지 및 관리(감축정책)와 직접적인 관련이 있다. EbA를 통해 온실가스 감축이라는 공편익이 발생하는 것이다.

국내에서는 지역 또는 연안, 유역 단위의 기후변화 적응계획을 수립할 때 생태기반 적응정책 개념을 적용할 수 있다. 이와 관련하여 UNEP에서 생태기반 적응정책 가이드라인을 배포하고 있는데, 구체적인 사업 설계는 이를 참고하여 진행할 수 있을 것이다(UNEP, 2012). 또한 Matocha et al.(2012)은 EbA를 위한 의사결정 절차를 제시한 바 있다.

EbA의 사례 중 하나로 아시아 국가들에서는 맹그로브와 해안에 자생하는 식물을 활용하는 사례가 많다(Ayers and Huq, 2009). 해초들이 해안가 침식을 방지할 뿐 아니라 온실가스를 흡수하는 기능도 갖고 있기 때문이다. 국내에서는 국내 환경에 맞는 해초를 활용할 수 있을 것이고, 이를 위해 전통지식도 활용할 수 있을 것이다.



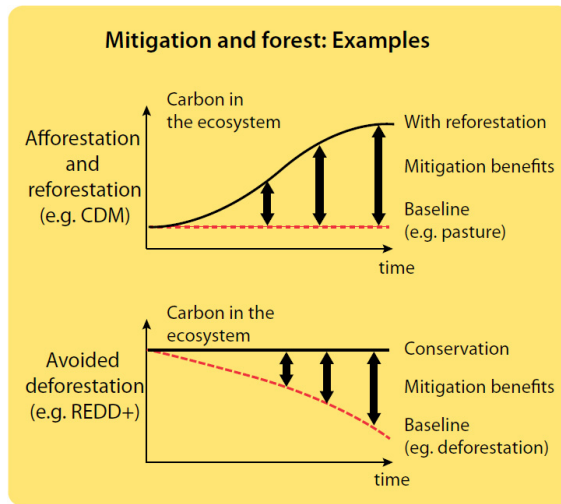
자료: GIZ(2012), p.2.

〈그림 3-9〉 생태기반 적응정책 개념

다. 감축-적응이 공통으로 중요한 분야

감축과 적응이 공통으로 중요한 분야로는 농업과 산림 분야가 있을 수 있다. 이러한 분야의 경우 감축과 적응을 연계한 사업을 개발하고 실행할 필요가 있는데, 대표적으로 산림을 통한 탄소흡수사업과 혼농임업(agroforestry) 등이 있다.

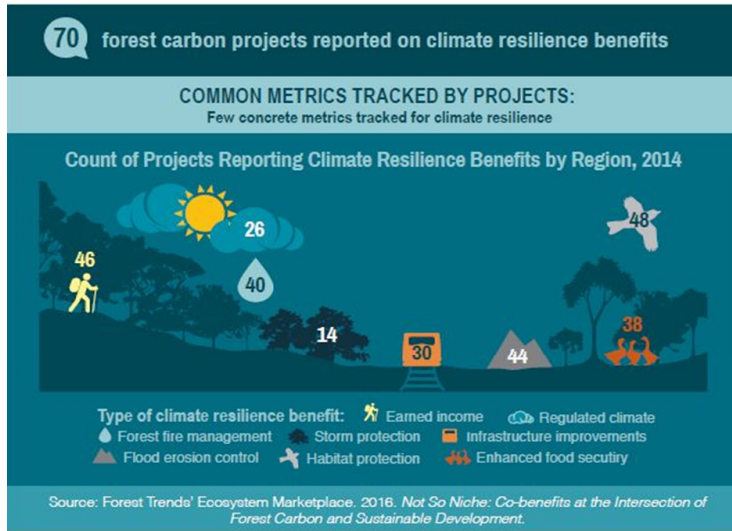
산림을 통한 탄소흡수사업은 산림이 제공하는 탄소흡수기능을 활용해 온실가스를 감축하는 사업이며, 추가적으로 이에 대한 실적을 배출상쇄권으로 인정해 준다. 산림을 통한 온실가스 감축은 <그림 3-10>에서 제시된 바와 같이 크게 조림(afforestation), 재조림(reforestation), 산림파괴 방지(avoided deforestation) 등을 통해 달성할 수 있다. 조림과 재조림의 경우 나무를 새롭게 식재함으로써 기존에 비해 온실가스 흡수량을 높이는 방법이며, 산림파괴 방지는 산림파괴를 통해 일어날 수 있는 흡수원의 손실을 방지하는 방법이다. 산림탄소흡수와 관련하여 국제적으로 인정받고 있는 대표적인 시장거래 방식으로는 CDM과 REDD/REDD+이 있다.



자료: Locatelli(2011), p.2.

<그림 3-10> 산림과 온실가스 감축

산림이 제공하는 생태적 기능은 <그림 3-11>과 같이 다양하다. 이 중 수자원 보호기능, 미기후 조절기능, 폭풍에 대한 보호기능 등은 기후변화 적응에 있어 중요한 요소이다. 따라서 산림을 통한 탄소흡수사업은 적응사업과 직접적인 관련이 있다. 국내에서의 산림탄소상쇄사업 활성화 방안에 대한 자세한 내용은 제4장에서 다룰 것이다.



자료: Ecosystem Marketplace(2016a).

〈그림 3-11〉 산림의 생태적 기능

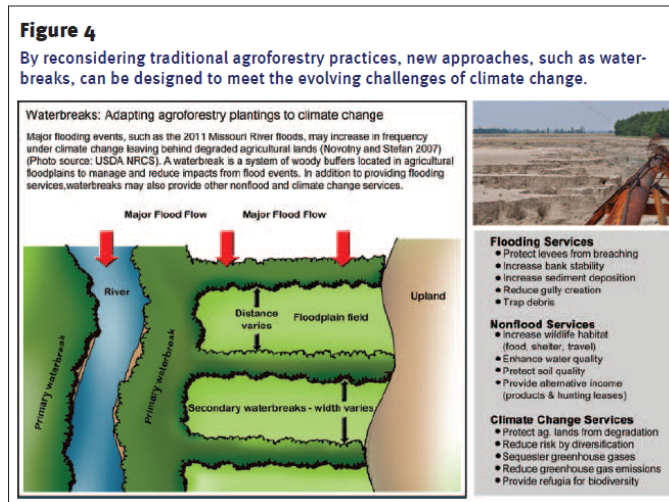
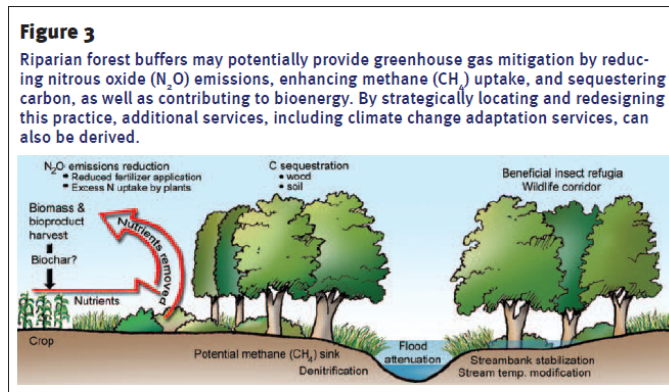
혼농임업도 산림탄소 사업과 마찬가지로 국제적으로 감축과 적응을 연계하는 대표적인 사례로 언급되고 있다. 〈그림 3-12〉는 멕시코의 커피 농장에 적용한 혼농임업 사례이다.



자료: Matocha et al.(2012), p.110.

〈그림 3-12〉 멕시코 커피농장 혼농임업 사례

숲은 <그림 3-13>에서 제시된 바와 같이 다양한 기능을 제공한다. 혼농임업은 숲의 이러한 기능을 활용해 온실가스를 감축하고 농작물의 기후변화 적응을 돕는 기법이라 할 수 있다. 혼농임업의 효과는 많은 연구들에서 보고되어 왔다. 예를 들어 Udawatta et al.(2011)은 단일 경작보다 혼농임업 방식에서 탄소흡수량이 11~41% 많은 것으로 보고했으며, Verchot et al.(2007)은 단일경작의 탄소흡수량이 10MgC/ha인데 반해 혼농임업의 탄소흡수량은 50~75MgC/ha라고 보고했다. 또한 많은 연구들에서 혼농임업을 통해 기후회복력이 높아지고 생태계의 다양성이 확보되는 것으로 보고되고 있다(Matocha et al., 2012).



자료: Schoeneberger et al.(2012), p.133.

<그림 3-13> 혼농임업의 기능

혼농임업을 적용하기 위해서는 우선 혼농임업의 탄소포집효과를 정량화할 수 있는 방법론을 개발할 필요가 있다. 미국에서는 농림부(Department of Agriculture)에서 혼농임업의 효과를 분석할 수 있는 COMMET-Farm 이라는 모형을 개발하여 활용하고 있으며(Chambers, 2013), 캐나다에서는 농림식품부(Agriculture and Agri-Food Canada)에서 Holos라는 모형을 개발하여 활용하고 있다. 이렇게 산정된 탄소흡수량을 농업부문 탄소배출량 감축정책에 활용하면 혼농임업의 활성화를 위한 좋은 기반이 될 수 있을 것이다.

제4장 | 부문별 세부전략

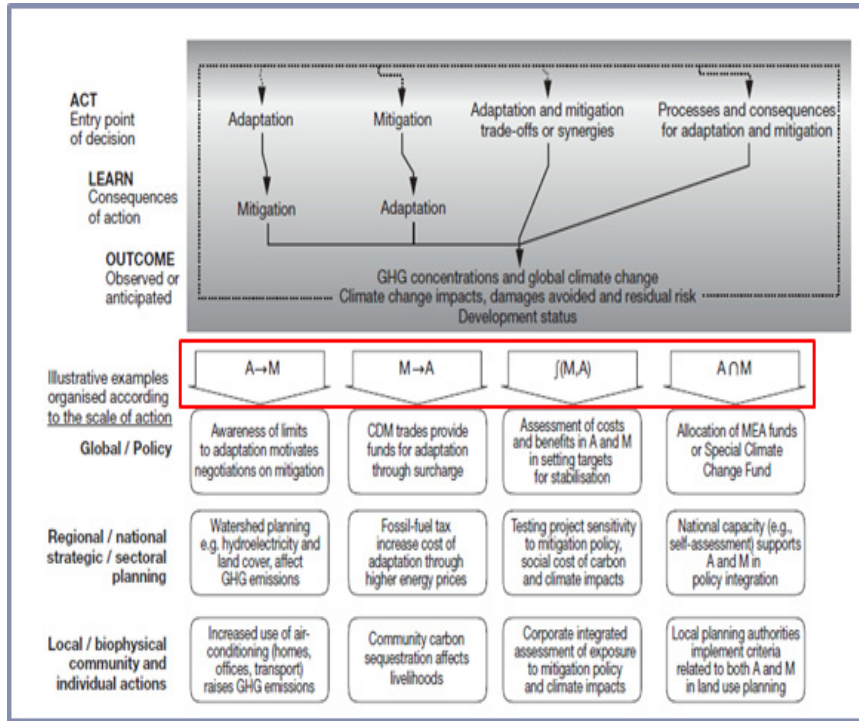
1. 국내 기후변화 대응정책 연계¹⁹⁾

가. 감축-적응 연계유형 분석

국내 기후변화 감축정책과 적응정책 간 연계를 위해서는 기존에 논의되고 있는 온실가스 감축-기후변화 적응 연계유형에 대해 살펴볼 필요가 있다. 앞서 분류한 기후변화 대응정책 공편의 유형은 기후변화 대응정책-그 외 정책 간 연계를 설명한 분류체계이기 때문에 여기서는 감축-적응 간 관계에 초점을 맞추어 연계 유형을 분석하였다. 우선 기후변화 관련 주요 이슈에 대한 종합보고서인 IPCC 제4차, 제5차 보고서의 내용을 기준으로 최근 논의되고 있는 연계방법을 적용하여 감축-적응 연계 유형을 분류하였다.

한편, 감축-적응 연계에 대한 IPCC의 논의는 제3·4차부터 제5차 보고서에 이르는 동안 변모되고 발전되었다. 제3차 보고서에서는 개별 기후변화 감축정책을 중심으로 공학적이고 기술적인 관점으로 접근하였다. 제4차에서는 감축-적응 연계방향을 기준으로 기후변화 대응정책을 유형화하고 실제 사례를 제시하였다. 구체적으로 제4차 보고서에서는 정책 또는 수단이 다른 정책에 영향을 미치는 방향을 기준으로 온실가스 감축-기후변화 적응 간 관계를 크게 네 가지로 분류하였다. 그리고 국가, 지역 단위 등 스케일별로 각각의 유형에 포함되는 정책 사례를 <그림 4-1>과 같이 제시하였다.

19) 이번 절의 주요 내용은 한국환경정책학회 2016년 추계학술대회(서울 코엑스, 2016.10.21)에서 발표되었다. 지정토론을 비롯해 토론에 참여해 주신 모든 분에게 감사드린다.



자료: IPCC(2007b)

〈그림 4-1〉 IPCC 감축-적응 연계유형

첫 번째 유형(A→M)은 적응정책이 감축에 영향을 미치는 형태이고, 두 번째 유형(M→A)은 감축정책이 적응에 영향을 주는 형태로 두 유형 모두 정책 간 선형적인 인과관계를 나타낸다. 반면에 세 번째 유형[J(M,A)]과 네 번째 유형(A∩M)은 호혜적인 인과관계 형태를 나타낸다. 세 번째 유형은 두 개별 정책 간의 연결(통합) 또는 평가 등의 의사결정과정을 의미하며, 국가 내 기후변화 대응목표 달성을 위해 계획된 감축정책과 적응정책 간 비용편익분석 사례가 이 연계 유형에 포함된다. 네 번째 유형은 기후변화와 관련되지 않은 정책의 경우 감축과 적응에 모두 영향을 미치거나, 기후변화 대응의 경우 감축과 적응을 동시에 고려한 정책을 설명한다. 가령, 감축과 적응을 동시에 고려한 토지이용계획이나 기후변화 대응 통합기금 운영사례가 이 연계 유형에 해당한다.

또한 제4차 보고서에서는 감축-적응 연계과정에서 발생하는 효과를 공편익과 시너지로 구

분하였다. 공편익은 감축과 적응 가운데 한 편이 다른 편의 결과물에 영향을 미치는 효과로, 시너지는 개별적인 두 정책 각각의 효과보다 결합된 효과가 개별 효과를 능가하는 상호작용으로 정의하였다(IPCC, 2007). 이와 같이 IPCC(2007b)에서 구분한 연계 유형의 효과 등 유형별 특성을 <표 4-1>과 같이 재구성하였다.

<표 4-1> 감축-적응 연계와 공편익의 관계

| IPCC(2007b) | 효과 | 인과관계 | 우선순위 |
|-------------|----------|------|------|
| A→M | 공편익 | 선형적 | 정책방향 |
| M→A | | | |
| $f(M, A)$ | 시너지(상쇄*) | 쌍방향적 | 없음 |
| $A \cap M$ | | | |

주: * IPCC 제4차 보고서에서는 trade-off에 두 가지 정의로 분류하여 제시함. 하나는 감축과 적응정책 간 상대적인 상쇄효과로, 또 다른 하나는 개별 기후변화 정책 시행에 따른 건강 등 다른 부문에 야기되는 부정적 영향으로 나타냄.

최근 제5차 보고서에서는 감축-적응 연계를 개별 정책 간 연계로 이해하기보다는 한 사회 내 시스템적인 접근을 통한 지속가능한 발전과 연결하고, 이를 고려하여 기후변화 대응정책을 추진해야 한다고 주장하였다(IPCC, 2014). 이전에는 감축-적응 연계를 물리적인 연결로 제한하였다면, 제5차 보고서에서는 통합적인 관점에서 정보 및 교육의 질, 형평성 향상 등 정책목표 외 효과 등을 고려하여 연계전략을 세울 것을 강조하였다.

이와 같은 감축-적응 연계에 대한 시스템적인 관점은 두 정책 간의 관계에 초점을 맞추었던 논의에서 기후변화 개별 정책 내 다른 요소를 동시에 고려하거나 두 개 이상의 복수 정책들을 통합하는 방향으로 확장되고 있다. 즉, 온실가스 감축정책 내 적응요소를 추가적으로 고려하거나 개별 정책 내 감축, 적응을 동시에 고려하여 수립하는 연계 유형을 나타낸다. 가령, 국내의 경우 도심 내 녹화사업이 적응정책으로 분류되지만, 도심 탄소흡수원 기능을 고려하여 수종, 공원형태를 설계한다면 감축정책과의 직접적인 연결이 없더라도 앞서 설명한 시스템적 연계 관점에서는 적응정책 내 감축요소를 고려한 연계 유형에 포함시킬 수 있다. 또한 동일한 도심 녹화사업이라고 할지라도 태양광 발전시설 설치 등 감축정책과 직접적으로 연결 또는 통합 추진하는 경우에는 두 정책 간 감축-적응 연계 유형으로 분류할 수 있을 것이다.

이러한 분류체계는 물리적인 연결에 초점을 맞추었던 과거의 흐름과 비교하면 다소 복잡해

졌다고 평가할 수 있다. 이는 감축-적응 연계를 정책방향(우선순위) 및 인과관계를 중심으로 파악하는 관점에서 벗어나, 기후변화 정책의 공편의 효과를 중심으로 감축-적응 연계를 설명하기 때문이다. 다시 말해 과거 온실가스 감축-기후변화 적응 연계가 주목받았던 시기에는 연계 수단과 유형이 정책의 종류에 따라 대부분 정해져 있는 방식이었다면, 최근 논의의 핵심은 동일한 기후변화 정책이라고 할지라도 경제, 사회 등 환경에 따라 연계 유형이 변화하며 그 효과도 다양하다는 점이다.

한편, 국내 온실가스 감축-기후변화 적응정책 연계를 시도하기 위해서는 앞서 살펴보았던 최근 관련 논의와 국내 여건을 동시에 고려한 연계 유형 분류체계가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 IPCC 제4차 보고서에 제시한 네 가지 유형의 구조 체계 아래 연계 관련 최근 논의를 반영하여 국내 온실가스 감축-기후변화 적응 연계 유형 체계를 개발하였다. 국내의 경우 온실가스 감축과 기후변화 적응대책을 각각 별도로 수립하고 있기 때문에, 선형적 인과관계를 중심으로 분류한 IPCC 제4차 보고서의 연계 구조를 활용하기에 용이할 것으로 판단하였다. 다만, 두 정책 간의 연계성 검토와 동시에 개별 정책 내 감축 또는 적응요소를 반영한 연계 정책도 감축-적응 연계 유형 체계에 포함시켜 <표 4-2>와 같이 마련하였다.

<표 4-2> 온실가스 감축-기후변화 적응 연계유형

| IPCC (2007) 유형 구조 | 최근 논의 | 구조에 따른 분류 | 유형 |
|-------------------|---------------------------------|------------------|----|
| M→A | 감축정책에 적응요소 고려 | Within | M+ |
| A→M | 적응정책에 감축요소 고려 | | A+ |
| $A \cap M$ | 둘 또는 여러 개별 정책을 연계 | Between | L |
| $\int (M,A)$ | 감축-적응 통합추진 또는 개별정책 내 두 요소 동시 고려 | Between / Within | S |

국내 감축-적응 연계 유형 체계는 구조적으로 크게 Within과 Between 두 개로 구분하였다. Within 유형은 감축 또는 적응 개별 정책 내 다른 요소를 고려할 수 있거나 기존 정책목표 외 다른 효과를 기대할 수 있는 정책을 포함한다. 즉, 하나의 정책 내에 다른 요소를 포함하고 있거나 고려할 수 있는 것이 Within 구조라고 할 수 있다. 이러한 틀 아래 개별 감축정책에 적응 요소를 포함하고 있거나 적응효과를 기대할 수 있는 정책을 M+ 유형으로, 반대로 적응정

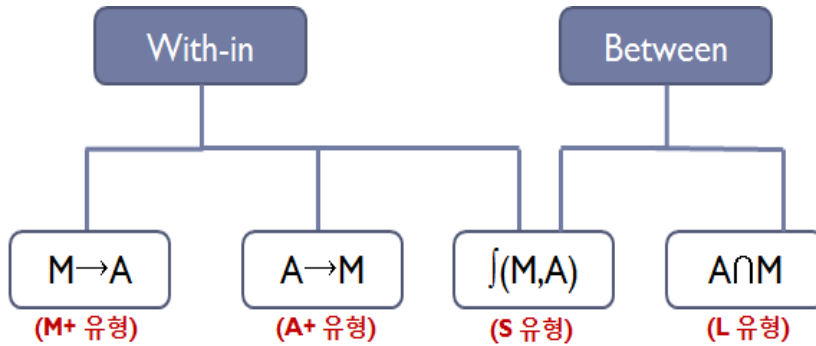
책에 감축 요소를 내포하고 있거나 감축효과를 야기할 수 있는 정책을 A+ 유형으로 각각 분류하였다.

Within 구조는 A+, M+ 유형 외 S 유형도 포함하고 있다. S 유형은 감축, 적응 개별 정책이지만, 하나의 정책 내에 두 가지 요소를 동시에 고려하고 있는 사업을 나타낸다. 예를 들어, 기후변화 기금 운영과 같은 정책 사업은 감축기금과 적응기금을 동시에 사용하기 때문에 S 유형에 포함된다. 물론 기금 특성에 따라 감축, 적응 중 어느 한 쪽으로 예산 배분이 집중될 수는 있지만 감축, 적응 두 요소를 동시에 고려하는 개별 정책이기 때문에 Within 구조에 포함된다.

이와는 반대로 하나의 정책 내에 감축-적응 특성 연계가 아닌 감축, 적응 두 개 이상의 개별 정책들을 연결시키는 경우를 Between 구조로 분류하였다. 이는 두 정책을 연결시킬 경우 개별 정책을 각각 추진할 때와 비교해서 비용 감소의 상승효과를 유발하거나, 개별 정책에 상쇄효과를 줄일 수 있는 방향으로 연계하는 유형에 해당한다. 가령, 온실가스 저감을 위해 휘발유 자동차와 비교해 이산화탄소 배출량이 적은 디젤차 보급 정책을 추진할 경우 감축효과 외 대기 오염 물질 증가라는 상쇄효과²⁰⁾를 야기할 수 있다. 이러한 감축정책에 따른 상쇄효과는 미세먼지 관련 취약성 평가 등 건강부문 적응정책과 연계할 경우 그 크기를 줄일 수 있을 것이다. 이처럼 감축·적응 두 개 이상의 정책을 직접적으로 연계하는 방식과 정책들을 L 유형으로 분류하였다.

Between 구조에는 L 유형 외 앞서 Within 구조로 분류된 S 연계 유형도 포함된다. 하나의 정책 내에서 감축-적응 두 가지 요소를 동시에 고려하여 이미 추진되고 있는 사업이 Within-S 유형이라면, Between-S 유형은 개별 정책을 통합으로 운영해야 할 정책들의 연계를 나타내는 유형이다. 앞서 제시한 기후기금의 경우 현재 별도로 운영되고 있는 감축기금과 적응기금을 하나로 통합하여 추진한다면 S 유형으로 구분이 가능하다. 목표가 유사한 정책이 감축, 적응 별도로 각각 추진되고 있다면, 이를 통합하여 비용효과성 또는 그 외의 시너지 효과를 기대할 수 있는 유형이 여기에 해당한다. 다시 말해 Between-S 유형은 특성과 목표가 유사한 감축-적응 두 정책을 통합으로 추진하는 연계 유형이다. 앞서 제시한 네 가지 연계유형을 종합하면 <그림 4-2>와 같다.

20) 여기서는 기후변화 개별 정책 시행에 따라 다른 특정 부분에 부정적 영향을 미치는 것을 나타냄.



〈그림 4-2〉 온실가스 감축-기후변화 적응 연계유형

나. 국가 온실가스 감축 로드맵과 제2차 국가기후변화 적응대책

두 정책 간 연계를 위해서는 각각의 정책 대상 또는 범위 설정이 우선시되어야 한다. 특히, 우리나라의 기후변화 대응정책의 경우 크게 국가 / 지자체 단위로 구분되어 각각 수립되고 있기 때문에, 감축-적응 연계를 시도하기 위해서는 대상이 일치되는 정책 간 비교가 필요하다. 국내 기후변화 관련 법정계획을 살펴보면 감축의 경우 국가 에너지기본계획, 온실가스 감축 로드맵, 지역 녹색성장계획 등이 포함된다. 적응의 경우에는 국가 기후변화 적응대책과 지자체 기후변화 적응대책으로 구분이 가능하다.

에너지 기본계획은 수요 전망치에 따른 공급을 위한 국가 에너지 기본정책이, 전원구성비 설정 부분에서 신재생에너지 등 일부 온실가스 감축 관련 계획이 포함되어 있지만 감축정책으로 구분하기엔 대표성이 부족하다고 판단된다. 또한 지역 녹색성장계획과 지자체 기후변화 적응대책은 지자체 단위에서 수립되는 기후변화 대응정책이다. 본 연구에서는 국가단위 기후변화 대응정책 간 연계를 시도하기 때문에 『국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵』(이하 ‘2020 로드맵’)과 『제2차 국가기후변화 적응대책』(이하 ‘2차 적응대책’)을 중심으로 상호 비교하였다.

한편, 2015년 12월 파리협정 이후 신기후체제가 출범함에 따라 국가 온실가스 감축 목표는 기존 2020년 BAU 대비 30%에서 2030년 BAU 대비 37%로 변화하였다. 이와 관련하여 기존에 작성되었던 2020 로드맵은 폐지되고, 새로운 감축목표에 맞춘 로드맵 작성이 불가피해졌

다. 이에 정부는 2016년 2월 기후변화대응체계 주요 개편방향 중 하나로 2016년 안에 『2030 온실가스 감축 로드맵』(이하 ‘2030 로드맵’)을 새롭게 발간할 것을 발표하였다.²¹⁾ 따라서 본 연구에서도 2020 로드맵이 아닌 새로운 감축목표에 맞춘 2030 로드맵과 2차 적응대책 간 연계를 시도하는 것이 타당하지만, 현재까지 2030 로드맵이 발간이 되지 않았기 때문에 본 연구에서는 우선 2020 로드맵을 활용하여 분석을 실시하였다.²²⁾

2020 로드맵의 주요 내용은 국가 온실가스 감축목표를 실질적으로 달성하기 위한 부문별·업종별·연도별 감축목표와 이행방안이었다. 2009년 처음 감축목표를 설정하고 이를 위한 2011년 세부 목표를 수립하였으나 구체화된 이행방안을 제시하지 않았다. 따라서 부문별로 실효성 있는 이행계획 수립의 필요성이 대두되었다. 이에 정부는 2013년 5월 관계부처 합동으로 전문가 공동작업반을 구성하여 논란이 되었던 배출전망치(BAU: Business As Usual)와 감축목표 및 감축잠재량을 재검증하고, 구체적인 이행방안을 수립하는 계획을 세웠다. 2014년 1월 관계부처 합동으로 7대 부문별 감축정책과 이행 수단을 포함한 2020 로드맵을 발간하였다.

본 연구에서는 주된 관심사가 정책 간 연계전략에 있으므로 2020 로드맵에서 제시한 주요 내용 중 부문별 이행방안 및 감축수단에 초점을 맞추어 살펴보았다. 2020 로드맵에서는 구체적인 이행방안을 마련하기 이전 단계에서 산업, 전환/발전, 농·어업 등 총 7개 부문 26개 세부 업종으로 분류하였다. 산업부문을 17개 업종으로 세부 분류하고 업종 특성에 적합한 감축 목표량과 이행수단을 제시하였다. 감축 목표량 기준으로 살펴보면 산업, 발전부문이 가장 큰 비중을 차지한 것으로 나타났다. 2020 로드맵에서 제시한 부문별 감축 목표량 및 감축 방안, 주요 감축수단을 <표 4-3>과 같이 재구성하였다.

21) “파리협정의 효과적 이행을 위한 기후변화 대응체계 강화”, 국무조정실 보도자료(2016.2.25).

22) 2016년 11월 1일 국회에서 진행된 2030 온실가스 감축로드맵 점검 대토론회 발표자료 “2030 온실가스 감축 로드맵의 주요 내용과 향후 계획”에서는 기존 2020 로드맵의 7개 부문 분류체계는 그대로 유지하고, 산업부문 내 업종 분류만을 이전보다 세분화하여 제시하였다. 또한 2030 로드맵의 부문별 주요 감축수단도 모든 부문에서 2020 로드맵과 상당 부분 유사하였다.

〈표 4-3〉 2020 로드맵 부문별 감축 목표 및 주요 감축 수단

| 부문 | 감축 목표량 (백만tCO ₂ eq) / 감축 목표율 | 부문별 감축 방안(수) | 주요 감축 수단 |
|-------|---|-----------------|---|
| 산업 | 81.3 / 18.5% | 27 | 배출권거래제 시행 연료대체(중유→LNG) 폐열회수설비 발전량 증대 등 |
| 수송 | 34.2 / 34.3% | 5 | 스마트 교통시스템(ITS) 구축 친환경차 보급 확대 수소연료 전지차 500대 보급 등 |
| 건물 | 45.0 / 27.0% | 15 | 고효율 냉·난방기기 보급 확대 기존 건물 그린 리모델링 주택 단열강화 등 |
| 공공/기타 | 4.4 / 25.0% | 8 | 공공부문 목표관리제 운영 LED 보급률 (2020년까지 70%) 사무용 전자제품 효율개선 등 |
| 농어업 | 1.4 / 5.2% | 6 | 논 간단관개 면적 확대 가축분뇨 에너지화 시설 확충 공동자원화시설 확대 등 |
| 폐기물 | 1.7 / 12.3 % | 6 | 폐기물 에너지화 전자제품 재활용 확대 매립가스 회수·발전 등 |
| 전환/발전 | 64.9 / 26.7 % | 4 | 신재생에너지 보급 확대 스마트그리드 확대 탄소포집·저장(CCS) 도입 등 |

자료: 관계부처 합동(2014), 「국가 온실가스 감축목표를 달성을 위한 로드맵」을 토대로 저자 재구성.

국가 단위 적응대책은 기후변화 영향을 감안해서 5년 단위로 수립하는 연동계획이다. 최초 계획인 1차 적응대책은 2010년 14개 중앙부처 합동 참여로 수립되었다. 당초 10개 부문 87개 세부이행과제로 구성되었지만, 2012년 9개 부문 67개 세부과제로 수정되었다. 1차 적응대책은 성과지표 및 우선순위 부재 등 이행과정 상에 한계점이 지적되었다. 이러한 한계를 보완하기 위해 부문별 리스크 평가 등 적응 우선순위와 핵심전략을 구체화한 2차 적응대책(2016~2020)이 2015년 관계부처 합동으로 발간되었다(관계부처 합동, 2015).

1차 대책과 비교할 때 가장 큰 차이는 부문 분류체계가 대폭 바뀌었다는 점이다. 기존 1차 대책에서는 건강, 재난/재해 등 총 9개 부문으로 분류하여 이행방안을 수립하였다면, 2차 대책에서는 정책방향별로 부문을 분류하여 적응 수단을 제시하였다. 구체적으로 과학적 위험 관리

등 5대 정책방향과 20개 중점과제로 구성되어 있으며, 중점과제 아래 총 216개 세부 추진사업이 포함되어 있다.

<표 4-4> 제2차 국가기후변화 적응대책 체계 및 부문별 추진과제 수

| 정책 방향 | | | | |
|--|---|---|---------------------------------|---|
| 과학적 위험관리 | 안전한 사회건설 | 산업계 경쟁력 강화 | 지속가능한 자연자원 관리 | 국내·외 이행기반 마련 |
| 중점과제 | | | | |
| 감시·예보시스템 취약성 통합평가 기후 시나리오 통합정보 시스템 기후영향 모니터링 | 취약계층 보호 취약시설 관리 건강피해 관리 재난·재해 관리 | 산업별 적응역량 산업별 적응인프라 적응 기술개발 해외시장 진출기반 | 생물종 보전관리 생태계 복원관리 위험요소 관리 | 적응 실효성 강화 국제협력 강화 지역단위 적응활동 적응 홍보·교육 |
| 세부 추진과제 수 | | | | |
| 65 | 43 | 50 | 27 | 42 |

자료: 관계부처 합동(2015), 「제2차 국가기후변화 적응대책」을 토대로 저자 재구성.

주목할 만한 것은 2차 적응대책의 7대 기본방향 중 “기후변화 감축과 적응을 함께 고려하여 공동편익(Co-benefit) 창출”이 포함되어 있다는 점이다.²³⁾ 또한 적응대책에서 제시한 5대 적응원칙에도 부적절한 적응(mal-adaptation) 방지, 적응-감축 공동편익 극대화 등 감축과의 연계 및 통합을 강조하고 있다(관계부처 합동, 2016). 이처럼 2차 적응대책에는 1차 적응대책과 달리 감축-적응 연계 관점이 추가되었으며, 이는 2차 적응대책이 국내 다른 기후변화 정책과 구별되는 주요 특징으로 판단된다.

감축-적응 연계 관련 내용뿐만 아니라 2020 로드맵과 2차 적응대책은 구성 및 특징 등 여러 부분에서 차이를 보인다. 특히 앞서 살펴본 것처럼 2차 적응대책은 정책방향별로 수립되면서 로드맵과의 부문체계 간 차이가 1차 적응대책과 비교할 때 더 커졌다고 볼 수 있다. 이와 관련하여 이행계획별 주관부처 형태에서도 차이가 나타난다. 즉, 2020 로드맵은 주도적으로 추진하는 부처 및 책임기관이 대체적으로 일원화되어 있는 반면, 2차 적응대책은 부처 간 합동

23) 본 연구에서 Co-benefit을 공편익으로 명시하고 있지만, 여기서는 제2차 국가기후변화 적응대책에서 제시한 공동편익이란 용어를 원문대로 기술하였다.

추진 등 여러 담당부처가 이원화 또는 다원화되어 있어서 수립된 계획이 다수 존재한다. 또한 감축과 적응의 특성 간 차이가 근본적으로 존재하지만, 평가지표에 있어서도 두 대책 간 차이가 명확하게 드러난다. 2020 로드맵은 세부 감축방안별 정량평가 지표(안)를 구체적으로 제시하고 있는 반면, 2차 적응대책은 정책방향별 일부 성과지표를 큰 틀에서 제시하고 있다. 2020 로드맵과 2차 적응대책 간 주요 차이점을 <표 4-5>와 같이 정리하였다.

<표 4-5> 2020 로드맵과 2차 적응대책 간 주요 차이점

| 구분 | 2020 온실가스 감축 로드맵 | 제2차 국가기후변화 적응대책 |
|------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 부문체계 | 산업, 전환 등 배출원 종류 별 대분류(7) | 과학적 위험관리 체계 마련 등 정책방향(목표)별 대분류(5) |
| 주관부처 형태 | 일원화 | 개별부처 추진 + 합동 추진 |
| 평가지표 | 감축방안(수단)별 정량 평가지표 | 정책방향별 성과지표(정량+정성) |
| 감축-적응 연계관점 | 미포함 | 기본방향 및 적응원칙에 포함 |

다. 2020 로드맵-2차 적응대책 연계

앞서 살펴본 2020 로드맵과 2차 적응대책의 설계과정, 부문 등 각 정책의 특성을 고려하여 이행방안 또는 정책수단의 연계를 직접 시도하였다. 우선 2020 로드맵-2차 적응대책 연계결과를 도출하는 과정 및 방법을 구체적으로 설명하였다. 다음으로 분류체계가 상이한 두 대책의 부문을 연결하였고, 앞서 살펴본 온실가스 감축-기후변화 적응 네 가지 연계유형에 따라 연계결과를 정리하였다.

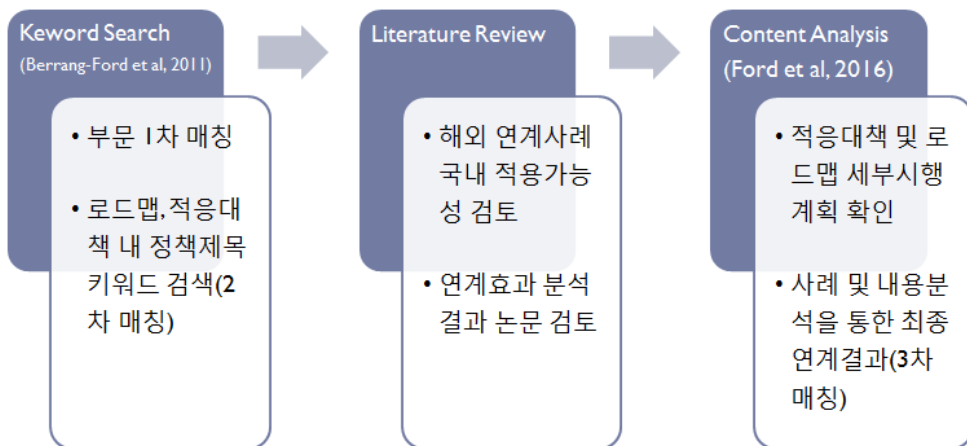
1) 연계과정 및 방법

두 대책의 이행방안을 연계하기 위해서는 정책수단들을 포괄하는 부문 간 매칭이 필요하였다. 2차 적응대책에서는 과학적 위험 관리 등 정책목표에 따른 부문 분류체계로 바뀌었다. 2020 로드맵이 발전, 산업 등 분야별 부문으로 구성되어 있는 것을 감안할 때 두 대책의 부문체계 간에는 불일치가 존재한다. 즉, 2차 적응대책과 2020 로드맵의 기존 부문으로 연계를 시도한다면, 부문-정책방향 내 정책들의 연계인 것이다. 이러한 분류체계 간 불일치는 향후

실제 감축-적응 연계정책을 설계할 때 주관부처 간 불일치 등 여러 문제를 야기할 수 있기 때문에, 두 정책의 이행방안들을 연계하기에 앞서 부문 간 1차 매칭을 시도하였다.

두 대책의 부문을 연결시킨 후 세부 이행방안에 초점을 맞추어 연계를 실시하고, 부문 간 1차 연계결과를 기반으로 세부 이행방안들을 연결시켰다. 1차 연계는 산업, 발전 등 2020 로드맵 부문을 기준으로 연결하였기 때문에 구조적 연결에 가깝다고 볼 수 있다. 이를 보완하기 위해 부문 간 연결 과정에서 2차 적응대책의 중점과제 내 세부 추진과제 내용을 반영하였다. 또한 키워드 검색을 통해 개별정책 간 2차 연계를 시도하였다. 2차 연계는 1차에서 고려하지 못한 개별 정책들의 제목이나 주요 내용을 검색하여 두 대책 간에 일치되는 내용을 연결시키는 과정이었다. 즉, 2020 로드맵의 부문별 감축 이행계획과 2차 적응대책의 세부 추진과제 간 정책 핵심용어 검색을 실시하여 공통으로 연결되는 정책들을 정리하였다.

끝으로 부문 간 1차 연계결과와 세부 과제들의 2차 연계결과를 종합하였고, 이를 앞서 도출한 감축-적응 네 가지 연계 유형에 적용하였다. 또한 최종적으로 관련 문헌 및 해외사례, 해당 정책 세부 시행계획 내용을 검토하여 연계효과 및 실현 가능성 등 연계 타당성을 검증하였다. 즉, 기존 1·2차 연계결과 중 연계 타당성이 낮은 정책들은 제외하였고, 연계결과에 포함되어 있지 않은 개별정책 중 연계 가능성이 높은 정책들은 포함시켰다. 앞서 설명한 3차 연계과정을 도식으로 정리하여 <그림 4-3>과 같이 제시하였다.



<그림 4-3> 3차 연계과정 및 방법

2) 국내 온실가스 감축-기후변화 적응 유형별 연계결과

2020 로드맵은 총 7개 부문, 2차 적응대책은 5개 부문으로 분류되어 있다. 수적인 차이뿐만 아니라 감축과 적응의 특성 차이를 고려하면 부문 간 일대일 매칭은 구조적으로 어렵다고 판단된다. 현재로서는 분야별로 구분된 2020 로드맵의 부문체계가 2차 적응대책보다 구체적이라고 볼 수 있다. 2차 적응대책에는 정책방향 부문-세부 이행계획 간 중점과제라는 중간 범주가 존재하기 때문에 이를 활용하여 2020 로드맵과의 부문 간 매칭을 시도하였다. 즉, 2020 로드맵의 분야별 부문을 기준으로 2차 적응대책의 정책방향 부문 내 중점과제와 연결하였다. 또한 부문 연계 타당성을 높이기 위해 중점과제별 세부 추진과제 내용을 추가적으로 검토하였다. 이러한 과정을 통해 도출한 부문 간 연계결과를 <표 4-6>과 같이 정리하였다.

<표 4-6> 2020 로드맵과 2차 적응대책의 부문 연계

| 2020 로드맵 | 2차 적응대책 중점과제 | 2차 적응대책 세부추진과제 |
|-----------|-----------------------------|---|
| 산업 | 기후변화 취약성 통합평가 사회·경제적 리스크 관리 | 부문별 기후변화 영향·취약성 평가 추진 국가 기후변화 경제·사회·환경 리스크 관리체계 구축 |
| | 1·2·3차 산업의 기후변화 적응력 강화 | 산업계 역량강화 및 적응산업 육성 지원 |
| | 산업별 적응인프라 확대 | 기후변화 대응 안정적 용수이용을 위한 수자원 확보 및 공급체계 마련 |
| | 적응정책 실효성 강화 | 기후변화 영향력이 큰 기업·사업장의 자발적·분담금적 성격의 국가·지자체 적응기금 마련 및 시행 |
| 수송 | 기후변화 취약지역·취약시설 피해 최소화 | 교통시설의 자연재해 저감 대책 마련 |
| 건물 | 기후변화 취약계층 보호·지원 | 기후변화 취약계층 이용시설의 기후회복력 진단·평가 |
| 공공/ 기타 | 기후변화 취약성 통합평가 사회·경제적 리스크관리 | 시설물 기후변화 리스크 점검체계 마련 |
| | 기후변화 취약계층 보호·지원 | 기후변화 취약계층 보호를 위한 관리망 운영 |
| | 기후변화 취약지역·취약시설 피해 최소화 | 기후변화 대응시설 설치 확대 |
| | 재난·재해 관리 시스템 강화 | 기후변화 대응 시설물 설계기준 강화 |
| 농·어업 | 기후변화 취약성 통합평가 사회·경제적 리스크 관리 | 부문별 기후변화 영향·취약성 평가 추진 |
| | 기후변화 취약지역·취약시설 피해 최소화 | 연안도시 재해 대응방안 마련 |
| | 1·2·3차 산업의 기후변화 적응력 강화 | 기후변화에 안정적인 식량 수급 체계 마련 |

〈표 4-6〉의 계속

| 2020 로드맵 | 2차 적응대책 중점과제 | 2차 적응대책 세부추진과제 |
|-----------|-----------------------------|--|
| 농·어업 | 산업별 적응인프라 확대 | 농업용수 안정적 공급 기반 마련 재해대비 기반시설 관리강화 |
| | 기후변화 적응 기술개발 | 식량자원 기후변화 영향 모니터링 기술 개발 농작물 재배기술 및 농업시설 관리기술 개발 기후변화 대응 가축·수산업 관리기술 개발 기후변화 적응 유망수종 및 재배기술 개발 |
| 폐기물 | 기후변화 적응 기술개발 | 기후변화 적응 위한 업사이클 고부가 가치화 기술개발 |
| 전환/ 발전 | 기후변화 취약성 통합평가 사회·경제적 리스크 관리 | 부문별 기후변화 영향·취약성 평가 추진 |
| | 재난·재해 관리 시스템 강화 | 재해피해예방 공동대응체계 마련 및 재난안전관리시스템 구축·운영 |
| | 산업별 적응인프라 확대 | 에너지 공급 안정성 확보 |

부문 간 연계결과, 다수의 2차 적응대책 중점과제가 여러 분야에 중복되어 연결되는 것으로 나타났다. 그 이유는 2차 적응대책 중점과제가 특정 분야에 국한된 것이 아니라 여러 분야의 과제를 포괄하는 체계이기 때문이다. 가령, 중점과제 ‘산업별 적응인프라 확대’의 경우 농·어업 분야와의 연계는 농업용수 공급 관련 내용이지만, 전환/발전 부문과의 연계는 에너지 공급과 관련된 세부과제로 인해 이루어 졌다. 즉, 동일한 적응 중점과제라고 하더라도 세부 추진과제에 따라 연계 부문이 다른 것을 확인할 수 있다.

구체적으로 살펴보면 산업, 농·어업 부문에서 다수의 중점과제와 연계가 가능한 것으로 나타났다. 이는 2차 적응대책이 5대 정책부문 중 ‘산업계 경쟁력 강화’를 포함시킬 정도로 산업 관련 적응을 강조하고 있기 때문이다. 농·어업의 경우 해외사례에서도 살펴봤듯이 기술, 시설 관리 등 다양한 측면에서 감축-적응 연계가 용이한 것을 확인할 수 있었다. 공공/기타 부문의 경우 시설 관련 적응 중점과제를 중심으로 부문 연계가 가능하며, 전환/발전 부문은 취약성 및 리스크 등 재난/재해 관련 2차 적응대책 중점과제와 관련성이 높은 것으로 나타났다.

부문 연계과정에서 상호 비교되었던 2020 로드맵 부문과 2차 적응대책의 중점과제 간 위계 불일치가 지적될 수 있다. 다만 부문 연계는 2020 로드맵과 2차 적응대책 간 구조적 불일치를 줄이고, 개별 정책들 간에 연계를 용이하게 하기 위해 시도되었다. 이러한 두 대책의 구조적

연계과정은 향후 온실가스 감축 로드맵과 적응대책을 상호적으로 고려하여 수립될 때 분야별 연계성 등 부문체제와 구조에 대한 시사점 및 활용방안을 제공할 수 있을 것이다.

1·2차 부문 간 연계결과를 기반으로 두 대책의 개별 정책들 간 연계를 시도하였다. 3차 연계에서는 2020 로드맵의 감축방안과 2차 적응대책 세부시행계획을 상호 검토한 후 앞서 도출한 네 가지 연계유형에 적용하는 과정이 필요하였다. 2020 로드맵 감축방안 중 적응요소를 고려하는 M+연계유형 결과는 분야별로 농업, 기반시설, 배출권거래제 외부감축사업으로 구분할 수 있다. 가령, 간단관개를 실시하여 상시 담수 대비 온실가스 감축효과를 기대하는 감축방안의 경우, 가뭄 등 물관리 적응요소를 고려한 연계가 가능할 것으로 판단하였다. 발전 시설 관련 감축방안의 경우 입지를 선정하거나 시설을 관리할 때 재난재해 취약성 평가를 고려하면 불확실성을 줄일 수 있다. 또한 기존 농업/산림 분야의 기후변화 적응요소를 고려하여 배출권거래제 외부감축사업을 설계하면 공편익을 증대시킬 수 있다. 이와 같은 M+ 유형 연계 결과를 종합하여 <표 4-7>와 같이 정리하였다.

<표 4-7> M+유형(감축에 적응요소 고려) 연계결과

| 국가온실가스감축 로드맵 (2014) | 적응요소 | 로드맵 주관부처 | 적응 관련부처 |
|---------------------------------|---------------------------|-------------|-------------|
| 논 물관리(간단관개 면적 증대) 개선 | 가뭄, 수질 등 물관리 | 농식품부 | |
| | 벼농사 취약성 | | |
| 가축분뇨 처리시설 확충 | 가축시설 취약성 평가, 가축 매개성 질환 | 농식품부 | |
| 환경기초시설 신재생에너지 설비 보급 확대(유휴부지) | 부지선정 시 취약성 평가 | 환경부 | |
| 스마트그리드 확대 등 에너지관리시스템 보급 확대 | 태풍 등 재난재해 적응 | 산자부 | 환경부 |
| 신재생에너지 보급 활성화 | 산사태 등 취약성 평가 | 산자부 | 환경부 |
| 건축물 냉난방 설비 등 효율 개선 | 기후변화 취약계층 고려 | 산자부 | 환경부 |
| 농업탄소상쇄사업 | 적응 유망 작물 및 재배기술 | 농식품부 | |
| 산림탄소상쇄사업 | 산림생태계, 홍수방재능력 | 산림청 | 산림청/ 환경부 |
| | 산사태 등 취약성 평가 | | |

이와는 반대로 A+유형은 2차 적응대책 세부시행계획에 포함되어 있는 적응정책 중 감축요소를 고려하여 추진할 수 있는 정책을 포함한다. 리스크, 취약성 평가 등 재난재해 관리와 산림분야로 적응 이행방안을 구분할 수 있다. 이러한 적응계획은 신재생에너지 시설, 산림의 흡수원 효과 등의 감축요소를 고려할 수 있다. 예를 들어, 시설물 리스크 관리체계 또는 에너지 공급체계를 구축할 때 신재생에너지 시설 평가항목을 추가하거나 반영하여 연계정책을 추진할 수 있다. 또한 M+유형 연계결과와 마찬가지로 취약성 평가, 생물다양성 가이드라인 등 산림 관련 적응정책의 경우에도 흡수원 효과를 고려하면 정책 간 상쇄효과(Trade-off)를 줄이거나 공편익을 향상시킬 수 있을 것이다. 적응에 감축요소를 고려하는 A+유형 연계결과를 다음 <표 4-8>과 같이 종합하였다.

<표 4-8> A+유형(적응에 감축요소 고려) 연계결과

| 제2차 국가기후변화 적응대책 세부시행계획(2016) | 감축요소 | 적응 주관부처 | 로드맵 관련부처 |
|--|---------------------|---------|------------------|
| 산업계 적응대책 수립·이행 지원 | 감축수단(흡수원) | 환경부 | 산자부 |
| 시설물 기후변화 경제·사회·환경 리스크 관리체계 구축 | 신재생에너지 등 시설물 리스크 | 환경부 | 국토부 |
| 재해대비 기반시설 관리강화 | | 농식품부 | 농식품부/ 산자부/국토부 |
| 에너지 공급 안정성 확보 | 신재생 에너지 보급 등 | 산자부 | |
| 통합적 산림재해 대응체계 강화 | 산림경영 등 산림탄소상쇄사업 | 산림청 | |
| 산림건강성과 생물다양성 유지·증진을 위한 가이드라인 마련 및 관련 교육 수행 | | | |
| 산림부문 영향·취약성 평가 방법론 개발 및 제1차 종합 실태조사·평가보고서 발간 | | | |
| 수원함양 증진을 고려한 활엽수 조림면적 확대, 댐유역 숲가꾸기, 산림관리 기법 고도화 | | | |

앞서 설명한 Within 연계유형인 M+와 A+ 유형 연계결과와 비교할 때, L유형과 S유형의 경우 더 많은 분야와 정책들의 연계가 가능한 것으로 분석되었다. 이는 2차 적응대책이 1차 적응대책에 비해 적응기술을 보다 강조하였기 때문이다. 이와 관련하여 L유형 연계결과에는 대체적으로 기후변화 대응 기술과 관련된 정책들이 다수 포함되어 있다. BEMS, EMS 등 건물에너지시스템 관련 감축방안과 기후변화 영향 정보 및 리스크 등 적응능력을 향상시킬 수 있는 정보생산 정책과 연계가 가능할 것이다. 해외 도시의 경우 태풍 등 자연재해 발생 시 에너지 효율향상을 위해 보급한 스마트그리드 시스템이 제공하는 정보를 피해현황 및 이동 경로 파악, 보급지역 우선순위 선정 등 그 피해의 크기를 줄이는 데 활용하고 있다(The City of New York, 2014). 또한 풍력 에너지 정책의 경우 시설물 대부분이 연안에 위치하고 있기 때문에 태풍, 해일 등 연안재해에 취약할 수 있다. 이를 2차 적응대책 이행계획에 포함되어 있는 연안재해 취약성평가와의 연계를 통해 상호 보완하면 재해에 따른 에너지 공급의 불확실성을 줄일 수 있을 것이다. 또한 평가항목 또는 지표에도 풍력시설 관련 자료를 추가하면 평가 고도화에도 도움이 될 것이다. 이 외에도 폐기물 부문의 업사이클 기술개발(적응)과 매립가스, 고형연료 활용 등 에너지화율 확대(감축)정책은 상호 간에 관련성 높은 사업으로 직접 연계가 가능할 것이다. 2020 로드맵과 2차 적응대책 간 L유형에 해당하는 연계결과를 <표 4-9>에 종합하였다.

개별 정책 내 감축, 적응 요소를 이미 동시에 고려하고 있거나 통합하여 추진하는 연계 유형인 S유형에는 대부분 2차 적응대책의 이행방안들이 포함되었다. 이는 두 대책 간 차이점에서 살펴보았듯이 2020 로드맵에서는 감축-적응 연계관점이 고려되지 않았으나, 2차 적응대책은 대책 간 상충 및 공편의 효과를 기본 방향 및 적응원칙에 강조하여 수립되었기 때문이다. S유형에 포함되는 정책들은 통합 기초연구, 건강부문 공편의, 통합기금 추진, 연계시설 또는 산림배출권으로 구분할 수 있다. 주목할 만한 것은 상충효과 및 공편의 등 감축-적응 연계관점을 예산배분에 반영하고자 하는 정책이 2차 적응대책에 포함되어 있다는 점이다. 이와 같은 S유형 연계결과를 정책별로 정리하여 <표 4-10>에 제시하였다.

〈표 4-9〉 L유형(감축-적응 연결) 연계결과

| 국가온실가스감축 로드맵 (2014) | 제2차 국가기후변화 적응대책 세부시행계획(2016) | 로드맵 주관부처 | 적응 주관부처 |
|--|---|-------------|------------|
| BEMS 표준화 등 보급 확산 | ICT 기술을 활용한 기후변화 영향 정보 생산 및 사용자 활용 중심 시스템 개발 | 국토부 | 미래부 |
| 유기성폐기물 에너지화율 확대 | 산림토양 산성화 원인물질·토양특성 변화 파악, 산림토양 산성화에 따른 식생·생물 반응 모니터링 등 | 산림청 | 환경부 |
| 신재생에너지(풍력) 보급 확대 | 연안재해취약성 평가 프레임 고도화 및 기후변화 연안재해취약성 평가 | 해수부 | 산자부 |
| 에너지관리시스템(EMS) 보급 확대 | 산업단지별 기후변화 영향·취약성 평가 | 산자부 | |
| 공정에서 발생하는 부생가스 열병합발전 확대 | 기후변화 리스크 평가체계 구축 | 산자부 | 환경부 |
| 폐기물 부문 에너지화율 확대 | 폐기물 및 폐자원 등을 활용한 업사이클 기술개발 및 보급 | 환경부 | |
| 가정 부문 신축/기존주택의 에너지저감 및 성능향상, 냉난방 설비 및 열원 효율 개선 | 기후변화 취약계층 이용시설의 기후회복력 진단·평가 | 국토부 | 환경부 |
| IT 기술을 이용한 기존 교통시설 운영 효율화 | 도시의 기후변화 적응력 향상을 위한 방재기능 강화 | 국토부 | |
| 신재생 발전 비중 확대 | 기후변화 대응 시설물 설계기준 강화 | 산자부 | 국토부 |

〈표 4-10〉 S유형(감축, 적응 동시 고려) 연계결과

| 제2차 국가기후변화 적응대책 세부시행계획(2016) | 국가온실가스감축 로드맵(2014) | 적응 주관부처 | 감축 주관부처 |
|--|--------------------|---------|---------|
| 직·간접 온실가스 저감정책 평가모형을 이용한 시나리오 개발 및 활용체계 구축 | - | 환경부 | - |
| 기후변화 시나리오별 피해영향에 따른 적응대책 및 감축정책에 대한 경제성 분석 | - | | - |
| 건강부문 공동편의(co-benefit) 동반 적응대책 개발 | - | | - |
| 도시녹화 사업 추진 및 지자체 건강도시 구축사업과의 연계 활성화 | - | | - |
| 국가적응관련 사업 예산의 배분·조정 기능 마련(감축-적응의 상충과 공동편의 등을 심의 제출하도록 법제화) | - | | - |
| 국가·지자체 적응기금 마련(국가단위 적응기금 마련 및 기존 기후기금의 적응사업 활용) | - | | - |
| 농작물 재배시설에 대한 설계기준 개선 및 시설원에 분야 내재해형 시설(첨단온실 등) 보급 확대 | - | 농식품부 | - |
| 산림생태계 보호, 지역사회 거버넌스 강화, 산림탄소 배출권 확보 사업, MRV 가이드라인 제작 및 이행능력 배양 교육 지원 | - | 산림청 | - |
| 제로에너지 빌딩 등 적응-완화를 고려한 녹색건축 확대 | - | 국토부 | - |
| 인도네시아(룸복) 산림전용 및 황폐화방지(REDD+) 이행 체계 수립 및 현지 협력체계 구축 | 국내 산림탄소상쇄사업 | 국토부/산림청 | 산림청 |
| 관광부문 전문 인력 육성 과정내 기후변화 관련 내용을 강화하여 관광부문 기후변화 전문교육 | 감축 전문가 양성과정 | 문체부 | 환경부 |

2. 산림탄소상쇄사업 활성화 방안²⁴⁾

가. 개요

산림청은 산림의 탄소흡수효과를 유지하고 증진시켜 국내 온실가스 감축에 기여하고자 2013년부터 「탄소흡수원 유지 및 증진에 관한 법률」(이하 ‘탄소흡수원법’) 제정과 함께 사업을 지속적으로 확대운영하고 있다. 현재 등록된 사업은 75건(2015년 5월말 기준)으로 연간 예상 탄소흡수량이 약 12만 톤(tCO₂)에 불과한데, 주요 원인은 배출권거래제와 직접적인 연계가 어려웠기 때문이다(김영환, 2015). 그러나 최근 배출권거래제법 시행령 개정으로 탄소흡수원법에서 규정한 감축실적형 산림탄소상쇄제도를 배출권거래제의 외부사업으로 직접 연계가 가능해져 산림탄소흡수량의 안정적인 수요 확보가 기대된다. 따라서 기존 감축실적형 인증기준으로 승인된 조림/재조림과 바이오매스 에너지 이외의 사업유형에 대한 인증방법론 개발이 시급한 상황이다.

한편, 해외의 경우 산림분야의 탄소감축 외 효과에 초점을 맞추어 추진되고 관리되는 산림탄소상쇄사업이 증가하고 있으며, IPCC(2007b, 2014)에서도 산림분야 감축사업 수행 시 기후변화 적응능력, 생물다양성 등 잠재적인 편익에 대한 고려를 강조하였다. 실제로 산림탄소사업의 공편익을 고려한 탄소표준이 개발되어 자발적 시장을 중심으로 거래되고 있으며, 산림탄소상쇄를 외부사업으로 허용하는 대표적인 규제시장인 캘리포니아 배출권거래제에서도 대기오염저감 정책과의 연계방안을 모색하고, REDD+ 크레딧을 허용하는 시행령을 제정하는 등 산림탄소사업을 공편익 증진이라는 관점에서 접근하고 있다(California Air Resources Board, 2016). 뿐만 아니라 공편익에 대한 학술적 연구가 급격히 증가하고 있으며, 이러한 효과를 가리켜 간접적 편익, 부수적인 편익, 시너지 등으로 다양하게 명명하고 있다(Mayrhofer and Gupta, 2016).

산림탄소상쇄사업과 관련된 국내 주요 연구를 살펴보면, 박미선 외(2014)는 국내 산림탄소상쇄제도에 대한 현황을 검토한 후 활성화를 위한 인센티브 방안을 규제적, 재정적 등으로 분류하여 제시하였다. 이동호, 김동환, 김성일(2015)은 해외 자발적 시장에서 산림탄소 크레딧

24) 이번 절의 주요 내용은 학술지 「환경정책」에 아래와 같이 게재되었음을 밝힌다. 김대수, 손원익, 황인창(2016), “공편익을 고려한 산림탄소상쇄사업 활성화 방안”, 「환경정책」, 24(4), pp.1-23.

이 시장거래 후 소각된 72개 사업들과 국내 산림탄소상쇄사업에 등록된 거래형 사업들의 투자 및 수익배분 특성을 분석하여 국내 산림탄소사업 활성화를 위한 시사점을 도출하였다. 김영환 외(2014)는 수종별 베이스라인 흡수량 산정을 통해 산림경영형 산림탄소상쇄사업 설계 방법론에 토대를 제공하였다. 또한 김영환(2015)은 산림탄소상쇄 잠재량을 도출하여 산림탄소상쇄 사업발굴의 필요성과 배출권거래제 연계를 위한 방법론 개발의 중요성을 강조하였다.

여기서는 산림탄소상쇄사업을 공편의 관점에서 분석하여 적응과의 연계전략을 제시하였다. 구체적으로 공편익을 고려해 진행되고 있는 해외 산림탄소상쇄사업 사례들을 살펴보고, 국내 산림탄소상쇄사업 활성화를 위한 시사점을 도출하였다. 기후변화 대응 공편의 관련 논의 아래 산림탄소상쇄사업의 공편의 유형을 분류하였으며, 산림분야 국제 인증표준에서 공편익을 어떻게 반영하고 있는지 살펴보았다. 또한 공편의 인증을 받은 산림탄소상쇄사업의 탄소상쇄분이 그렇지 않은 경우에 비해 거래 가격에서 차이를 보이는지 살펴보았다. 끝으로 정책제안으로서 국내 산림탄소상쇄제도 내에 공편익을 반영할 수 있는 방안을 모색하였다.

나. 산림탄소상쇄사업의 공편의 가치 및 인식

산림탄소상쇄사업 공편의에 대한 논의는 주로 대기, 물, 생물다양성 등 환경적인 편익에 집중되어 오다가 2000년대 이후에는 경제·사회적 편익으로 확장되었다(Mayrhofer and Gupta, 2016). 최근에는 이러한 공편익을 계량화하는 연구들이 활발히 진행되고 있는데 이하에서는 대표적인 연구사례를 살펴보았다.²⁵⁾

Richard et al. (2013)은 교토의정서(Kyoto protocol) 이후 형성된 국제탄소시장의 현황을 면밀히 정리하고, 이에 따른 탄소시장별 특징 및 주요 쟁점을 분석하였다. 탄소시장 중 가장 오래된 EU ETS(유럽연합 내 배출권거래)를 비롯한 미국의 RGGI(Regional Greenhouse Gas Initiative), NZ-ETS(뉴질랜드 배출권거래제) 등 규제시장별 특징 및 변화양상에 대한 분석을 통해 배출권거래제의 주요 쟁점을 이론적으로 살펴보았다.

또한 해당 논문에서는 배출권거래제의 제도적 장치 중 하나인 탄소상쇄(Carbon Offset)의 장·단점을 나열하고, 실제 탄소상쇄가 허용되는 시장에서 나타난 주요 쟁점과 그에 대한 해결

25) 산림이 제공하는 편익의 유형은 Schoeneberger et al.(2012)을 참고할 수 있다.

방안을 제시하였다. 상쇄제도의 가장 큰 장점이 비용효과성이며 시장참여자로 하여금 감축선택의 유동성을 제공한다는 점이라고 주장하였다. 반면, 탄소상쇄사업이 실제 감축에 기여하는지에 대한 논란이 존재하며, 산림탄소사업의 경우 실제 산림탄소사업이 시행되는 국가와 거래되는 국가와의 소득격차에 따른 분배문제 등이 발생할 수 있다고 설명하였다.

Elena et al.(2016)은 산림탄소상쇄사업에 관한 실증 연구 52개에 대해 메타분석을 실시하여 탄소감축 외 공편의 효과(Non-carbon services)를 분석하였다. 이들은 산림탄소상쇄사업의 공편의 항목을 대기정화 및 수자원, 식량공급, 생물 다양성, 휴양, 기타 서비스 등으로 구분하였으며, 연구결과 공편의의 가치는 <표 4-11>에 제시한 바와 같이 대기정화 및 수자원 배양, 생물다양성, 식량공급 순으로 높았다. 다섯 가지 공편의를 모두 합산할 경우 산림탄소상쇄사업이 유발하는 총 공편의는 면적 1ha당 연간 5,228달러에 달했다.

<표 4-11> 산림서비스의 공편의 추정결과

| 공편의 항목 | 가치(\$US/ha/yr) |
|------------|----------------|
| 대기정화 및 수자원 | 1,541 |
| 식량공급 | 1,268 |
| 생물 다양성 | 1,279 |
| 기타 서비스 | 922 |
| 휴양 | 218 |

자료: Elena et al.(2016)의 full sample 분석결과.

한편, Ecosystem Marketplace(2016a)는 산림탄소상쇄사업 참여자들에 대한 설문과 시장 거래 자료를 바탕으로 산림탄소상쇄사업의 공편의에 대해 분석하였다. 사업개발자들을 대상으로 실시한 설문조사 결과 총 144개 산림탄소상쇄사업 중 약 56%에 해당하는 81개 사업에서 공편의가 발생한다고 응답하였다. 이들이 제시한 공편의 유형에는 지역사회 참여, 기후변화 적응, 물 관리, 생물다양성, 일자리, 취약계층에 대한 편익 등이 포함된다. 개별 유형별로 공편의가 있다고 응답한 사업의 수는 <표 4-12>와 같다.

〈표 4-12〉 산림탄소상쇄사업의 공편익(유형별로 공편익이 있다고 응답한 사업 개수)

| 지역참여 | 기후변화 적응 | 물 관리 | 생물다양성 | 일자리 | 취약계층 보호 |
|------|---------|------|-------|-----|---------|
| 78 | 70 | 54 | 52 | 51 | 41 |

자료: Ecosystem Marketplace(2016a), 총 144개 사업 대상 설문조사 결과(중복 응답 가능)

공편익이 유발된다고 응답한 사업의 특징을 살펴보면, 〈표 4-13〉에서와 같이 자발적 시장에 참여한 사업과 개발도상국에서 수행된 사업에서 규제시장에 참여한 사업과 선진국에서 수행된 사업보다 산림탄소상쇄사업을 통해 공편익이 발생한다고 응답한 경우가 많았다. 인증표준 종류별로는 Climate, Community&Biodiversity(CCB) 인증사업, 사업유형별로는 조림 사업에서 공편익이 발생한다고 응답한 경우가 많았다. 주목할 점은 공편익이 반영되지 않은 인증표준에 포함된 사업의 개발자들도 상당수 공편익이 발생한다고 응답했다는 사실이다. 이는 산림탄소상쇄사업에 참여하는 사업자들의 상당수가 공편익을 사업의 효과 중 하나로 인지하고 있다는 것을 의미한다.

〈표 4-13〉 공편익 관련 응답 사업의 특징별 분석결과

| 시장유형 | | 국가 | |
|---|---------------|-----------|-------------------|
| 자발적시장 | 규제시장 | 선진국 | 개발도상국 |
| 68 | 7 | 21 | 58 |
| 사업유형 | | | |
| REDD+ | 조림 | 산림경영 | |
| 28 | 33 | 17 | |
| 인증표준 | | | |
| Climate, Community & Biodiversity (CCB) | Gold Standard | Plan Vivo | 기타 인증표준 (공편익 미반영) |
| 34 | 4 | 5 | 27 |

자료: Ecosystem Marketplace(2016a), 총 144개 사업 대상 설문조사 결과(중복 응답 가능).

〈표 4-12〉에서 산림탄소사업이 지닌 기후변화 적응효과에 대한 결과를 살펴보면, 70개의 프로젝트 중 48개 사업에서 생물다양성, 46개의 사업에서 소득증대, 44개의 사업에서 홍수침식방재 순으로 나타났다. 해당 보고서에서는 특정 산림탄소사업에 대해 예상되는 공편익 효과

가 다양하게 중첩되는 사업과 사업대상 지역 여건에 적합한 사업을 위주로 추진할 것을 강조하였다.

다. 공편익 반영 인증표준

국제적으로 산림탄소상쇄사업 크레딧에 대한 거래는 꾸준히 증가해 오고 있다(Ecosystem Marketplace, 2015b). 최근 들어 캘리포니아 등 규제시장에서도 산림탄소상쇄분의 거래량이 증가하고 있는 추세지만, 현재까지 거래 대부분이 자발적 탄소시장에서 이뤄지고 있다.

자발적 시장에서 산림탄소크레딧을 거래하기 위해서는 국제기구 또는 국제표준에서 인정한 별도의 사업인증(Third-party carbon standards)을 획득해야 한다. 최근에는 산림탄소상쇄사업의 공편익 효과의 중요성이 부각되면서, 감축효과를 진단하는 탄소흡수량 표준 이외에도 공편익을 반영하기 위한 인증기준이 개발되었으며, 해당 인증사업들의 크레딧 거래가 증가하고 있는 추세이다(Ecosystem Marketplace, 2016b).

한편, 산림탄소사업에 따른 공편익 인증기준 종류는 반영 형태에 따라 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 하나는 기존 인증기준에 환경·사회 분야 효과에 대한 별도의 인증기준을 덧붙이는 추가형(labeled)이고, 다른 하나는 평가 부문별로 공편익 인증조건들을 삽입하여 각 조건들에 대한 통과여부를 심사하는 삽입형(wrapped)이다. 이 두 가지 유형에 따라 개별 인증표준의 특징 및 현황을 검토하고 개별 산림탄소 인증기준이 탄소크레딧 거래가격에 미치는 영향을 분석하였다.

추가형은 기존의 국제 인증표준을 획득한 사업이 공편익 효과도 포함하고 있다는 것을 추가로 인증해 주는 기준이라고 할 수 있다. 추가형 인증기준에는 Climate, Community & Biodiversity(CCB) Standards와 Social Carbon 등이 포함된다. 이하에서는 CCB를 중심으로 추가형 인증기준의 특징 및 현황을 분석하였다. Social Carbon은 주로 신재생에너지 사업 인증을 위해 개발된 기준이며 2016년 7월 기준 산림분야로 인증된 사업 개수가 단 1개이기 때문에 본 연구의 분석에서는 제외하였다.

CCB 기준은 2005년에 처음 개발되었으며, 2013년 12월에 최근 버전인 제3판이 발행되었다. CCB 기준의 주목적은 개별 산림탄소상쇄사업에 대한 공편익 효과를 평가하여 사업인증에 반영하는 것이다.

Verified Carbon Standard(VCS)는 REDD+ 등 산림뿐 아니라 다양한 분야의 자발적 탄소감축사업의 감축효과를 측정하여 인증을 부여하는 대표적인 국제 탄소표준이다. 2015년 기준으로 자발적 탄소 크레딧 거래의 약 50%가 VCS 인증사업에 해당한다. VCS의 총 거래량 22.3 백만톤 중 약 46%에 해당하는 10.3 백만톤이 산림탄소상쇄사업이며, VCS 인증 사업 중 추가적으로 CCB를 인증받은 사업은 약 56%를 차지한다(Ecosystem Marketplace, 2016b).

CCB 기준은 사업자가 제출한 정성평가를 바탕으로 공편의 여부를 판단하는 것으로, 세부부문으로는 기후변화, 지역사회, 생물다양성 등이 포함된다. 부문별로 프로젝트가 시행되기 전과 후에 발생하는 순효과를 판단하여 공편의 여부를 기술하도록 하고 있다. CCB 기준을 획득할 수 있는 사업유형에는 REDD+, 조림, 산림경영 등이 포함된다(CCBA, 2013).

삽입형은 공편의 추정 방법론이 인증표준 내 기후변화 영향 평가항목에 필수 요소로 포함되어 있는 것으로, Plan Vivo 인증기준과 Gold Standard 인증기준 등이 이 유형에 해당한다. Plan Vivo 인증기준을 획득한 사업은 2015년 기준으로 자발적 탄소시장의 약 2%인 0.86 백만톤이다. Plan Vivo 인증을 획득한 사업의 거래량은 2014년 대비 124% 증가했는데(Ecosystem Marketplace, 2016b), 이는 국제적으로 혼농임업(agroforestry) 등 소규모 지역 단위의 산림탄소상쇄사업의 수가 증가하는 데 기인한다. Plan Vivo는 산림분야에만 적용 가능한 기준이며 사업지역 토착종 재배 등의 평가조건을 기준에 포함시켜 개별 지역의 특수성을 반영하는 특징을 갖고 있다(The Plan Vivo foundation, 2013). 또한 탄소거래수익의 60% 이상을 해당 지역사회에 환원해야 한다는 조건은 다른 인증기준과 비교할 때 가장 큰 차이점이라고 볼 수 있다(Ecosystem Marketplace, 2016b).

Gold Standard는 2003년에 처음 개발되었지만 산림탄소상쇄사업 인증 방법론은 2013년에 처음 도입되었다. 인증은 크게 사회적 영향과 환경적 영향으로 구분되며, 프로젝트 기반으로 각 보호조항(Safeguards)에 대한 체크리스트 형식으로 구성되어 있다(The Gold Standard Foundation, 2013). Gold Standard는 2015년 기준으로 전체 자발적 탄소시장 거래량의 약 19%를 차지하지만, Gold Standard 인증사업 중 산림분야 사업비율이 1% 미만이기 때문에 산림탄소상쇄 거래량은 아직까지 미약하다고 볼 수 있다(Ecosystem Marketplace, 2016b). 노조운영 등 지역 이해당사자와의 협의를 필수조항으로 강조하며, 사업면적 중 최소 10% 이상의 생물다양성 보호구역 지정도 의무조항으로 포함시키는 것이 특징이다.

〈표 4-14〉에서는 공편익을 반영하는 자발적 산림탄소 인증표준들의 연혁 및 특징 등을 종합하였다.

〈표 4-14〉 공편익 인증기준별 연혁 및 특징

| 구분 | 연혁 | 특징 | 평가지표 매트릭스 | 사업유형 |
|---------------|--------------------------|---|--|---------------|
| CCB | '05년 개발. '13년 제3판 발행 | “Without-project” 시나리오와 비교해 기후변화, 지역사회, 생물다양성의 “Net-positive” 효과 측정 | 프로젝트 기반 정성 지표사용. 기후변화, 지역사회, 생물다양성으로 구분하여 각 항목별 체크리스트 | 조립 산림경영 REDD+ |
| Social Carbon | '14년 REDD+ 인증을 위해 개발 | “sustainability hexagon” 평가. 6개 평가항목 중 프로젝트 특성에 따라 3개 항목 선택 - 탄소, 생물다양성, 사회, 경제, 인적자본, 자연환경 | 각 지표별 1~6까지 스코어를 합산하여 항목별 평균 도출 | 조립 REDD+ |
| Plan Vivo | 1997년 첫 인증. '13년 최종 업데이트 | 소규모 자작농 대상 인증기준 - 탄소거래수익의 60% 이상을 지역사회 환원 - 토착수종 재배 등 | 프로젝트 기반으로 평가가 이뤄지며, 대부분 정성적 지표 사용 | 조립 REDD+ |
| Gold Standard | 산림 관련 방법론. '13년 개발 | “Do-not-harm” 평가 - 사회적: 노조운영 등 - 환경적: 프로젝트 면적 중 최소 10% 이상 생물다양성 보호 지역 이해당사자 협의 필수 | 프로젝트 기반 보호조항(Safeguards) 형식의 평가 - 보호조항 위배여부 - 특수한 프로젝트의 경우, 기존 보호조항 평가절차 부적합 사유 설명 요구 - 지역 이해당사자 협의 조항: 12개 공통지표 | 조립 |

자료: Ecosystem Marketplace(2016a)을 토대로 저자 재구성.

라. 인증표준에 따른 거래가격

산림분야에서 공편익은 존재여부 및 중요성을 논의하는 수준을 넘어, 실제 탄소상쇄 사업 시행 시 공편익을 반영하여 프로젝트를 설계하고 관련 크레딧을 거래하는 단계에 이르고 있다. 해외의 경우 이미 산림부문의 공편익을 고려한 탄소표준이 개발되어 거래되고 있는데, 자발적 시장에서 가장 많은 거래실적을 보유한 탄소표준인 VCS의 CCB 운영사례가 대표적이다. CCB는 추가형 인증기준으로 전통문화, 거주민 생계유지, 생물종 다양성 등에서 탄소감축 이외의 사업효과를 명시적으로 고려한다. CCB는 산림부문에서 현재까지 거래되고 있는 공편익 관련 표준 가운데 가장 많은 비중을 차지하고 있으며²⁶⁾, 기존 VCS 표준과의 차별성을 인정받고 있다.

주목할 점은 시장참여자들이 산림분야 탄소상쇄사업에서 기존의 감축편익과 구별되는 편익으로서 공편익을 인지하고 구매해 오고 있다는 사실이다. 산림분야 탄소 오프셋(offset)의 구매자들을 대상으로 조사한 결과, 공편익이 존재할 경우 구매비용의 33% 이상을 추가로 지불할 의사가 있다고 응답한 결과는 이러한 사실을 잘 보여준다. 한편, 공편익이 오프셋 구매 결정에 미치는 영향을 설문한 조사에서는 응답자의 절반 이상이 가장 중요한 결정요인이라고 응답하였다. 구매자들은 공편익 가운데에서도 생물다양성, 지역 공동체 이익에 우선적인 관심을 가지고 있는 것으로 조사되었다(Ecosystem Marketplace, 2016a). 이를 통해 알 수 있는 사실은 산림분야의 경우, 사업으로 인한 공편익의 발생여부가 시장참여자들의 중심적인 관심사라는 점이다.

이를 반영하듯 시장에서 거래된 CCB 인증 오프셋의 가격을 살펴보면 기존 오프셋과 비교할 때 가격 프리미엄이 존재함을 확인할 수 있다(표 4-15 참조).

〈표 4-15〉 연도별 VCS 및 VCS+CCB 평균 거래가격

단위: \$US / tCO₂

| 구분 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 평균 |
|-----------|------|------|------|------|------|-----|
| VCS | 8.5 | 4 | 2 | 3.5 | 3.2 | 4.2 |
| VCS + CCB | 9.1 | 7 | 3.8 | 6.2 | 4.8 | 6.2 |

자료: Ecosystem Marketplace(2012, 2013, 2014, 2015a, 2016b)

26) “2005년 최초의 CCB 표준이 개발된 이래 현재까지 100여개가 넘는 프로젝트에 CCB 표준이 적용되어 왔으며, 이 가운데 40개가 넘는 프로젝트가 인증되었다. 또한 전 세계 40여국에 걸친 사업진행 결과 아이슬란드 국토에 달하는 사업면적에 CCB 표준이 적용되었다.”, <http://www.v-c-s.org> 참조

2011~2015년의 최근 5년간 옵션 가격을 살펴보면 VCS 옵션은 톤당 3.2~8.5달러의 범위에서 가격을 형성하였으며, CCB가 추가적으로 고려된 옵션의 경우 3.8~9.1달러의 범위에서 가격을 형성하였다. 두 옵션 간의 가격차는 연도별로 크기의 차이는 있지만 지속적으로 발생한 것으로 나타났다. 또한 VCS 표준만을 고려한 사업의 경우 톤당 5개년 평균 4.2달러를, CCB가 반영된 사업의 경우 톤당 5개년 평균 6.2달러의 가격으로 거래되었다. CCB 사업으로 인한 크레딧의 경우 평균적으로 약 45%의 적지 않은 가격 프리미엄이 더해져 거래된 것이다.

마. 국내 사례 및 정책 제안

산림부문에서 공편익을 반영한 옵션에 프리미엄이 반영되어 시장에서 거래되고 있는 상황은 향후 국내 배출권거래제에서 산림부문 옵션이 거래될 예정인 우리에게 시사하는 바가 적지 않다. 산림부문의 경우 현재까지 진행된 상쇄사업의 수와 규모가 미미하여 배출권 거래 시 실제 옵션 공급 가능성에 대한 회의가 존재해 왔다. 따라서 본 연구에서는 산림의 공익적 가치를 반영하기 위해 시도해 온 기존 국내 정책 및 인증에 대해 검토하였다. 기존 현황을 토대로 해외 인증표준 및 거래가격 분석결과를 활용하여 향후 국내 산림탄소 옵션 거래 시 공편익을 효율적으로 반영하기 위한 정책적 시사점을 도출하였다.

국내의 경우 공편익 개념을 직접적으로 적용하진 않았지만, 산림부문의 공익적 가치 또는 사회·경제적 효과를 정책에 반영하기 위한 노력이 꾸준히 진행되어 왔다. 이러한 시도 중 대표적인 것이 산림청에서 2014년부터 추진해 오고 있는 ‘한국형 산림인증제도’ 도입이다. 이는 국내 산림환경에 적합한 산림인증표준 개발을 통해 국제산림인증시스템(FSC: Forest Stewardship Council)에 의존하던 기존 국내 인증환경의 열악함을 극복하고, 향후 국제산림인증연합프로그램(PEFC: Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes)과의 연계를 통해 지속가능한 산림경영 체계 구축을 위한 정책이다(산림청, 2015).

인증 종류는 산림경영인증과 임산물 생산·유통인증(COC: Chain Of Custody)으로 구분된다. 전자는 산림경영활동이 환경·사회·경제적으로 지속가능하게 이루어지고 있는지를 평가하는 인증이고, 후자는 산림경영인증림에서 생산된 임산물을 생산·가공·유통·판매하는 조직에 대한 추가 인증이다. 2014년 한국산림인증제도 추진을 위한 로드맵이 수립되었으며, 2015년

에는 인증표준(안)을 개발하였고, 현재는 PEFC 연계를 위한 제도 시스템 구축을 추진 중이다 (설미현, 2016).

특히, 인증표준(안) 개발과정에서 산림청(2014)은 몬트리올 프로세스²⁷⁾ 기준의 해외사례 및 PEFC 지표들을 활용하여 한국형 산림경영인증표준 개발을 위한 지표 풀(Pool)을 <표 4-16>과 같이 제시하였다.

<표 4-16> 한국형 산림경영인증기준과 해외 산림분야 공편의 기준

(단위: 달러/톤)

| 기준 및 지표수 (PEFC / 산림청) | Elena et al. (2016) | Ecosystem Marketplace (2016) | CCB (2013) |
|-------------------------------------|---------------------|------------------------------|------------|
| 산림자원의 유지 및 지구탄소순환에의 기여 (12/30) | X | X | X |
| 산림생태계의 건전성 및 활력도 유지 및 증진 (12/20) | X | X | X |
| 산림의 생산 기능의 유지 및 증진 (8/24) | △ | ○ | X |
| 생물다양성의 유지, 보전 및 증진 (13/29) | ○ | ○ | ○ |
| 산림 보전기능(물, 토양보전 기능)의 유지 및 증진 (5/12) | ○ | ○ | ○ |
| 사회경제적 편익의 유지 및 증진 (14/23) | ○ | ○ | ○ |
| 법적 요구의 준수 (2/15) | X | X | △ |

자료: 산림청(2014)을 토대로 저자 재구성.

한편, <표 4-16>에서 제시한 지속가능한 산림경영인증표준(안) 중 음영을 표시한 생물다양성, 물·토양보전, 사회경제적 편익 기준들은 산림탄소상쇄사업 인증방법론에 활용할 수 있다고 판단된다. 그 이유는 앞서 분류한 산림탄소사업의 공편의 유형 및 해외 인증표준과 기준 및 개념이 유사하기 때문이다. 뿐만 아니라 각 기준에 부합하는 평가지표도 발굴하여 현재 PEFC 지표와의 비교·대조를 통해 연계를 추진 중이므로 향후 산림탄소상쇄사업의 공편의 인증기준 개발과정에 활용도가 클 것으로 기대된다. 구체적으로 산림탄소상쇄사업 인증방법론 개발 시 평가항목으로 삽입하거나 별도의 공편의 인증표준 추가개발 시 기초연구로서 활용할 수 있다.

27) 몬트리올 프로세스는 한국을 비롯한 미국, 일본, 중국, 러시아 등 아·태지역 주요 12개 국가가 지속가능한 산림경영을 통해 기후변화 등에 대응하기 위해 구성한 국제협의체다.

한국형 산림경영인증제가 지속가능한 산림경영 인증을 도입하여 해외인증표준과의 연계를 도모하기 위한 정책이라면, 탄소흡수원 지수 측정 방법론 개발은 산림탄소상쇄 등록사업별 실적에 대해 공편익을 반영하여 비교·평가하기 위한 시도이다. 산림청은 2013년 개별적인 산림탄소상쇄사업을 상호 비교·평가할 수 있는 탄소흡수원 지수를 개발하였다. 지수 도입 시에는 조림/재조림과 산림바이오매스 에너지 유형에 해당하는 방법론을 개발하였고, 2014년에는 산림경영 유형을 확대하였다. 주요 내용은 탄소, 인간, 자연으로 평가기준을 구분하고, 각 기준별 지표 및 가중치를 설정한 것이다(산림청, 2014).

한편, 지수측정 방법론의 기본원칙은 온실가스 감축이며, 사회·경제적 편익 및 환경적 영향을 보완원칙으로 제시하였다(산림청, 2013). 앞서 분류한 산림탄소사업의 공편익 유형에 부합하는 평가기준은 보완원칙에 포함되는 ‘인간’과 ‘자연’이다. 다만 환경적 영향(자연)의 세부기준들 중 비영속성 처리 및 누출 처리는 상쇄사업 효과의 지속성 및 효율성과 관련된 항목이기 때문에 보완원칙보다는 기본원칙에 부합하며, 감축효과 외 효과를 나타내는 공편익과는 무관한 세부기준으로 판단된다. 탄소흡수원 지수 방법론에서 제시한 세부기준별 평가 지표 및 산출방법을 <표 4-17>과 같이 재구성하였다.

<표 4-17> 탄소흡수원 지수 세부기준별 지표 및 산출방법

| 원칙 | 기준 | 세부기준 | 지표 | 산출 |
|----|----|-------------|--|--|
| 기본 | 탄소 | 효과성 | ① 추가적인 총 온실가스 감축량 - 모니터링 기간 내 총 온실가스 감축량(tCO ₂) | 산림탄소상쇄사업 중 최대 온실가스 흡수량을 1로 간주하고 다른 사업의 온실가스 흡수량을 상대 평가 |
| | | 효율성* | ② 모니터링 기간 내 단위면적 당 온실가스 감축량 (tCO ₂ /ha/연) | 산림탄소상쇄사업 중 연평균 최대 온실가스 흡수량을 1로 간주하고 다른 사업의 연평균 온실가스 흡수량을 상대 평가 |
| 보완 | 인간 | 이해당사자 참여 | ③ 이해당사자와의 협의 절차 (사업공청회/설명회 개최 등) 수립 및 이행 | 협의절차 이행 1점, 불이행 0점 |
| | | 지역사회 기여도 | ④ 해당 사업 고용인력 증 현지채용 인원 비율 | 전체 고용인구 중 현지 채용 인원 비율에 따라 0~1점으로 표준화 (0% 0점~100% 1점) |
| | | 사회경제적 영향 평가 | ⑤ 사업추진으로 인한 부정적인 사회·경제적 영향을 줄이기 위한 조치 수립 및 조치 이행 평가 | 미흡 0점, 보통 0.5점, 양호 1점 |

〈표 4-17〉의 계속

| 원칙 | 기준 | 세부기준 | 지표 | 산출 |
|----|----|-----------|--|---|
| 보완 | 자연 | 생물다양성 증진 | ⑥-1 전체 조림수종 중 자생수종 비율 ⑥-2 수종 풍부도 및 영급 구성 다양성 | ⑥-1 전체 조림수종 중 자생수종이 차지하는 비율에 따라 0~1점으로 표준화(0% 0점~ 100% 1점) ⑥-2 (사업시행 이전과 비교) 감소: 0점, 유지: 0.25점, 증가: 0.5점 |
| | | 비영속성 처리 | ⑦ 산림전용 발생 여부 | 발생하지 않음 1점, 발생 0점 |
| | | 누출 처리 | ⑧ 모니터링 결과 추가 누출 발생 유무 | 총 온실가스 감축 실적의 0~2%: 1점, 2.1~10%: 0.5점, 10.1% 이상: 0점 |
| | | 환경적 영향 평가 | ⑨ 사업추진으로 인한 부정적인 환경적 영향을 줄이기 위한 조치 수립 및 조치 이행 평가 | 미흡 0점, 보통 0.5점, 양호 1점 |

주: 여기서는 산림청 보고서와 동일한 용어와 단위를 적용하였으며, 일반적인 효율성 의미와는 다를 수 있음. 다른 감축수단과 효과성을 비교하기 어렵지만, 호주 사례의 경우 1tCO_{2e} 감축에 약 8,000원(10호주달러)의 비용이 소요된 것으로 나타남(Green and Minchin, 2012)

자료: 산림청(2013, 2014)을 토대로 저자 재구성.

지수 측정 방법론은 생물다양성 기준을 포함하고 있지만, 평가지표를 수종으로 제한하고 있어 대표성이 다소 부족하다고 판단된다. 산림청은 자료에서 상쇄사업등록 이전에 실시되는 환경적 영향 평가과정에 기 포함된 생물다양성 지표(멸종위기종 및 희귀종)는 탄소흡수원 지수 측정에서는 제외한다고 설명하였다. 그러나 환경적 영향 평가는 사전에 실시하는 평가인 반면에, 탄소흡수원 지수는 등록된 산림탄소상쇄사업을 대상으로 사업효과를 평가하는 방법이기 때문에 평가지표 중복을 판단하는 근거가 비논리적이다²⁸⁾. 따라서 수종뿐만 아니라 사업대상지 내 희귀종(개체 수) 등의 지표가 추가된다면 생물다양성 유지 및 증진효과에 대한 포괄적인 평가가 가능해질 것으로 예상된다. 또한 기후변화 적용효과 측정을 위한 기준이 부재하다는 것도 기존 탄소흡수원 지수 측정 방법론이 지닌 한계점으로 지적할 수 있다.

이와 같은 한계에도 불구하고, 계획 수립 시 제출하는 기존 자료를 활용하는 방향으로 지표를 개발하여 사업자에게 지수 측정을 위한 추가적 부담이 발생하지 않도록 설계한 원칙은, 산림탄소상쇄제도의 공편익 평가 또는 반영을 논의하는 본 연구에 제공하는 정책적 시사점이 적지 않다. 해외 대부분의 공편익 측정이 정성적인 지표를 통해 산출되는 반면, 탄소흡수원

28) 산림청(2014.5) 설명자료 “탄소흡수원 지수 측정 방법론(산림경영활동 지수 추가)”를 참고하였다.

지수에서 제시한 세부기준별 정량적 지표와 가중치는 인증표준 내 공편익 관련 지표 개발 시 활용가치가 높다고 판단된다. 또한 이는 기본원칙(감축효과)과 보완원칙(공편익)으로 기준을 구분하여 기존의 인증표준에서 추가형 인증표준을 분리하고 적용할 수 있는 구조적인 틀을 제시해 주었다.

산림탄소상쇄사업과 배출권거래제의 직접적인 연계가 가능해지기는 했지만, 산림탄소상쇄 사업의 활성화를 위해서는 참여자들에게 다양한 동기를 제공할 수 있도록 새로운 인증 기준을 개발하는 작업이 여전히 필요하다. CCB의 예는 국내 산림 상쇄 표준 개발 시 공편익을 고려할 경우, 시장 참여자들에게 새로운 사업 참여 동기를 제공하며 산림 분야 옵션의 거래 활성화를 위한 유인으로 작용할 수 있음을 보여 준다. 이를 위해서 공편익을 반영한 한국형 인증표준을 설계하고 산림탄소상쇄사업을 활성화시키기 위한 인센티브 방안을 마련할 필요가 있다. 앞서 살펴보았듯이 공편익을 고려한 인증표준의 형태는 삽입형과 추가형으로 나누어 볼 수 있다. 국내의 산림경영인증표준은 공편익 관련 평가기준을 인증표준(안)에 포함시켰기 때문에 전형적인 삽입형에 해당한다. 이에 반해 탄소흡수원 지수 측정 방법론은 기본원칙과 보완원칙으로 구분하여 삽입형과 추가형의 특징을 모두 갖고 있다. 그러나 기본원칙과 보완원칙에 포함되는 세부기준을 분리하여 평가하는 방식이 아니기 때문에 방법론 전체적인 구조를 기준으로 본다면 지수측정 방법론 또한 삽입형으로 분류 가능하다. 이들 표준안들은 공통적으로 산림탄소상쇄 크레딧을 인증하기 위한 표준 방법론은 아니지만, 세부 평가항목과 지표들은 VCS+CCB 등 해외 주요 인증표준과 상당 부분 유사하다. 내용적인 측면에서 이와 같은 유사성이 존재하지만, 추가형과 삽입형 중 채택하는 인증표준 방식에 따라 시장참여자들의 반응은 상이할 것으로 예상된다. 삽입형의 경우 산림탄소상쇄사업에서 공편익 항목의 전반적인 반영이 가능할 것으로 판단되나, 사업운영 주체에게는 평가항목의 증가가 사업참여의 부담요인으로 작용할 수 있다. 추가형의 경우 상쇄사업 유형의 폭을 넓혀 줌으로써 유연성 확보에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

국내의 경우 산림탄소상쇄사업의 등록이 현재 미미한 수준이고 초기단계이므로, 추가형으로 우선 도입하여 상쇄시장에서 공편익 관련 크레딧의 거래를 활성화하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 더불어 이를 뒷받침하기 위해 공편익 사업에 대한 별도의 재정적 인센티브 지원이 필요하다. 이는 해외 자발적 시장의 사례에서 공편익이 가상적 편익이 아니라 시장에서 유통될

수 있는 시장가치로서 배출권 거래제와 같은 감축 메커니즘 내에서 성공적으로 내부화될 수 있음을 보여주고 있기 때문이다. 또한 해외 시장에서 공편익에 대한 가격 프리미엄이 존재함을 확인할 수 있었는데, 이는 향후 공편익을 고려한 산림 탄소상쇄사업의 경우 일반적 산림탄소상쇄 사업과 구별하여 사업 참여자에게 일정 부분 인센티브를 제공할 수 있는 근거가 될 수 있다.

이를 위해서 인센티브의 적정 규모를 추정하는 작업이 선행되어야 한다. 구체적인 인센티브 규모는 정교한 방법론을 통해 추후 산출되어야겠지만, VCS+CCB의 사례(배출권 거래가격의 30~40% 수준에 해당하는 추가적인 지불의사)를 적용할 수 있다고 가정한다면 추가형 인증표준을 획득한 국내 산림탄소상쇄 크레딧에 대한 보조금 규모²⁹⁾는 배출권 가격 1만 원 기준으로 3,000~4,000원 수준이 될 수 있다³⁰⁾. 이를 통해 추가형 인증을 획득하기 위해 소요되는 비용의 일부를 사업자에게 보조할 수 있을 것이다.

구체적인 인센티브 방식은 도입 초기엔 국가가 보조금을 통해 지원하고, 향후 시장에서 구매자가 가격을 통해 공편익 크레딧에 대해 부담하는 형태로 설계되어야 할 것으로 판단된다. 즉, 공편익 관련 인증을 획득하는 사업참여자에게 국가가 보조금을 지원하여 인증획득 과정에서 유발되는 추가적인 비용에 대해 보전해 주고, 향후 배출권시장에서 공편익 크레딧에 대한 가격 프리미엄 형성 여부를 판단하여 보조금 수준을 점진적으로 줄이는 방식으로 설계할 수 있을 것이다.

3. 전통지식 활용 방안³¹⁾

가. 개요

최근 기후변화와 관련한 전통지식의 중요성이 국제기구를 중심으로 점차 강조되고 있다. 구체적으로 UNFCCC(2013)와 UNESCO(2012)는 전통지식의 활용에 관한 보고서를 발간했

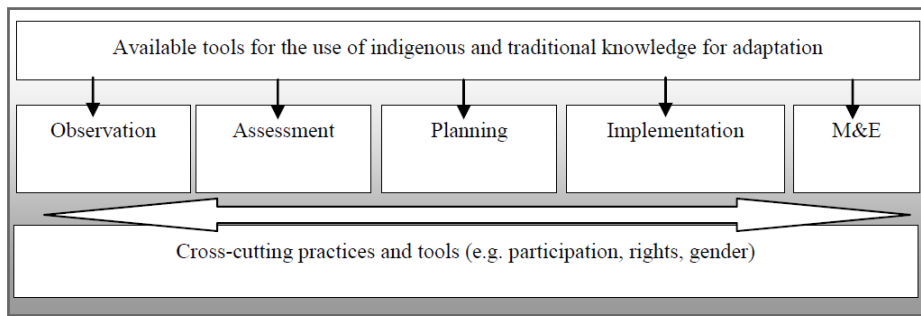
29) 박미선 외(2014)는 산림상쇄 사업의 인센티브 수단 가운데 하나로 재정적 인센티브를 언급하고 있으며, 그 크기를 시장수요자의 지불수요의사와 배출권 시장가격 간의 차이로 정의하고 있다.

30) 여기서 제시한 보조금 수준에 과소 또는 과다추정의 우려가 있지만, 본 연구에서는 실제 시장에서 거래되는 가격을 활용하였기 때문에 CVM, 메타분석 등 간접적인 추정과정보다 편익 가능성이 적다고 판단하였다.

31) 이번 절의 주요 내용은 2016 기후변화와 지속가능혁신 국제컨퍼런스(인천 인하대, 2016.6.29)에서 발표되었다. 지정토론을 비롯해 토론에 참여해 주신 모든 분에게 감사드린다.

으며, IPCC 6차 보고서에도 전통지식에 관한 내용이 수록될 것으로 전망되고 있다(Ford et al., 2016).

개별 국가들에서도 미국, 캐나다, 호주 등을 중심으로 전통지식의 중요성이 강조되고 있으며, 저개발 국가들에서는 전통지식을 활용한 기후변화 적응사업을 수행하고 있다. 구체적으로 캐나다의 경우 기후변화 사업 또는 지역개발 계획 시 전통지식의 활용을 의무화하고 있으며, 미국에서는 기후변화 영향평가(National Climate Assessment) 시 전통지식을 활용하고 있다(Maldonado et al., 2016). 전통지식의 발굴과 보급을 위해 미국 자연사 박물관(American Museum of Natural History)은 전통지식에 관한 국제 심포지엄을 개최하기도 했다. UNFCCC(2013)에서는 전통지식이 활용된 35개 사례를 제시했는데, 전통지식은 대체로 <그림 4-4>에서 제시된 단계 중 기후관측과 취약성 평가 단계에서 중점적으로 활용되고 있는 것으로 분석되었다.



자료: UNFCCC(2013), p.14.

<그림 4-4> 단계별 기후변화 전통지식 활용

나. 전통지식의 정의 및 구분

전통지식은 자연 및 주변 환경과의 관련성, 상호작용과 관련하여 지역사회가 세대를 통해 축적, 갱신, 전달해 온 지식이나 노하우를 의미한다(Berkes, 2012; UNESCO, 2012). 이러한 전통지식은 다음과 같이 구분할 수 있다(UNESCO, 2012).

- 환경변화에 대한 경험적인 이해
- 추론적인 사고
- 지역사회 노하우
- (환경변화에 대응한) 작업방식이나 기술
- 지역사회 조직이나 제도
- 의식이나 규범
- 세계관

인간은 환경변화(기상이변, 기후변화, 재난)에 대해 적응해 왔으며 이러한 적응방식은 전통 지식이나 기술의 형태로 축적되고 전달되어 왔다. 이러한 점에서 전통지식은 기후변화를 포함한 환경의 변화와 관련하여 적응계획을 세우고 자연자원 관리전략을 수립하는 데 있어 중요한 역할을 한다. 이와 관련하여 국제기구들은 기후변화 적응계획을 수립할 때 전통지식을 포함하여 이용 가능한 최선의 기술들을 모두 활용하여 수립해야 한다고 강조하고 있다(IPCC, 2007; UNFCCC, 2010, 2013). 또한 칸쿤 적응 프레임워크(Cancun Adaptation Framework)에서도 전통지식을 시스템 내에서 이용 가능한 최적의 수단 중 하나로 명시하고 있다.

다. 전통지식의 중요성

1) 감축-적응 연계 측면

기후변화와 관련하여 전통지식의 중요성은 감축-적응 연계 측면과 불확실성 측면에서 살펴 볼 수 있다. 우선 감축-적응 연계 측면에서 전통지식은 지역사회 구성원들이 오랜 시간 수많은 시행착오를 거쳐 축적해 온 것으로 지역사회 시스템 내에서 기후, 생태, 산업, 문화 등과 관련하여 최적화된 것이라고 할 수 있다. 이러한 점은 통합적 시스템 접근을 요구하는 최근의 연구 경향(IPCC, 2014)과 부합한다. 한편, 감축-적응 연계에 관한 최근의 논의에서는 역량강화의 중요성이 강조되고 있다. 이는 감축과 적응사업이 수행되는 지역의 역량과 정보 및 제도적

접근이 사업의 성과에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 이러한 점에서 지역사회의 지식을 활용한 사업은 지역사회 구성원들의 참여기회를 증가시키고, 이를 통해 지역사회 구성원들이 정보 등을 습득함으로써 역량을 강화하도록 하는 계기가 될 수 있다. 또한 지역사회의 참여가 보장될 경우 사업의 실행가능성은 더욱 커지게 된다.

2) 기후변화 불확실성 측면

가) 기후변화 불확실성

기후변화는 기본적으로 불확실성을 특징으로 한다(Stern, 2013). 기후변화의 불확실성은 다음과 같은 측면을 통해 이해할 수 있다.

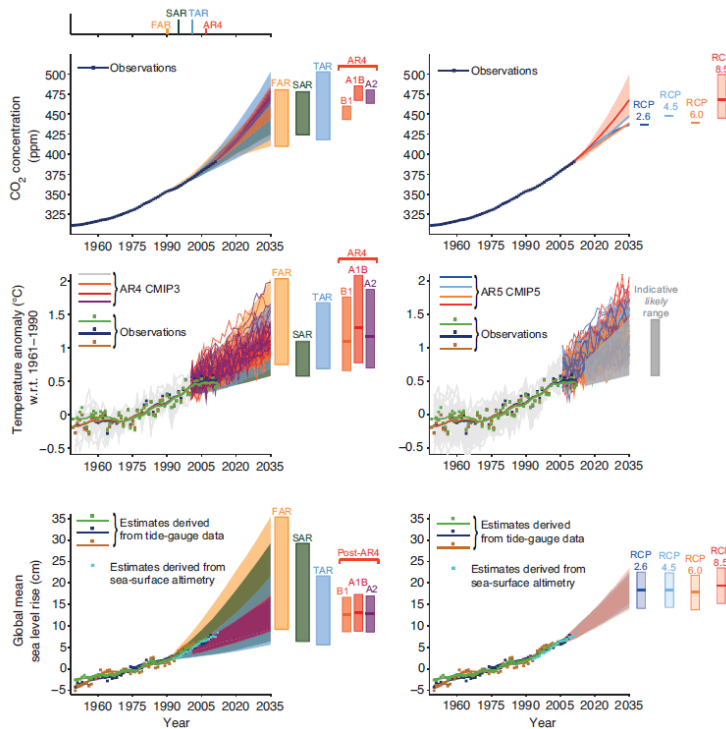
- 장기간 영향(long-term horizon)
- 경제활동과 연관(anthropogenic drivers)
- 지구시스템(Earth system)
- 인식범위 밖(terra incognita)

기후변화는 지구시스템과 관련되어 있어 장기간 그 영향이 지속된다. 또한 기후변화의 주요한 원인 물질인 온실가스는 인간의 경제활동과 관련되어 있다. 장기간에 걸쳐 인간의 경제활동을 정확히 예측한다는 것은 사실상 불가능하다. 예를 들어, 1년 후의 경제활동, 주식시장 등을 전망하는 수치들은 대부분 불확실성을 내포하고 있다. 경제활동의 수준에 따라 온실가스 배출량은 달라지고 온실가스 배출량에 따라 장래 지구평균기온 및 해수면 상승이 달라지기 때문에 기후변화 전망은 불확실할 수밖에 없다.

기후변화는 지구시스템의 변화를 통해 발생하는데, 기본적으로 기후시스템은 다른 자연과학 현상과 달리 직접 실험하기 어렵다. 실제로 기후과학의 많은 연구들은 모형을 통한 시뮬레이션 연구를 통해 기후변화와 관련한 중요한 모수(parameter) 값들을 추정하고 있다(IPCC, 2013). 정확한 실험 및 측정을 바탕으로 할 때 예측의 오차가 적어질 수 있다는 점에서 기후변화와 관련한 과학적 사실들은 기본적으로 불확실성을 내포한다.

마지막으로 미래 기후변화의 정도는 인간의 인식범위 밖의 일들이다. 예를 들어, 2100년 지구평균기온 상승의 정도는 중간 기후 시나리오의 경우 약 3℃ 정도인데, 인류의 기록 역사상 이러한 온도 상승은 없었다. 따라서 3℃ 이상 지구평균기온 상승이 가져올 영향을 정확히 예측한다는 것은 기본적으로 불가능하다.

이러한 기후변화의 불확실성은 <그림 4-5>에서도 잘 드러나고 있다. 역사적으로 관측되어 온 결과는 온실가스 농도와 지구평균기온, 해수면 상승 사이의 상관관계를 명확히 보여 준다. 참고로 이 연구에서 말하는 불확실성은 기후변화가 일어날 것인지에 대한 불확실성이 아니라, 기후변화가 일어날 때 어느 정도의 강도로 일어나는지, 지역별로 어떻게 다른 영향이 나타나는지 등에 대한 불확실성을 의미한다. 그림에서도 확인할 수 있듯이 2035년까지의 전망만 하더라도 전망 값의 신뢰구간이 상당히 넓은데, 이는 통계적으로 예측 값의 불확실성이 상당히 큼을 의미한다.



자료: IPCC(2013), p.64

<그림 4-5> 기후변화 전망

나) 불확실성의 영향

기후변화 불확실성은 기후변화 정책을 수립하는 데 있어 큰 영향을 미친다. 대표적으로 하버드대학교(Harvard University) Martin Weitzman 교수는 기후변화 불확실성이 클 경우 (fat-tailed or deep uncertainty) 온실가스를 감축하기 위한 지불용의액(willingness to pay)이 무한히 크다는 것을 수학적으로 증명했다(Weitzman, 2009). 이와 관련하여 기후변화 경제학에서는 많은 후속 연구들이 진행되고 있다(Nordhaus, 2011; Pindyck, 2011; Anthoff and Tol, 2014; Millner, 2013; Hwang et al., 2013; 2016a; 2017; Horowitz and Lange, 2014). 실례로 Hwang et al.(2016b)은 <표 4-18>과 같이 불확실성에 따라 최적의 탄소세가 크게 달라질 수 있음을 보인 바 있다. 일반적으로 기후경제모형에서 최적의 탄소세는 기후변화 대응정책의 강도를 대표하는 값으로 이해할 수 있다. 이러한 점에서 <표 4-18>의 결과는 불확실성이 기후변화정책에 미치는 영향이 상당히 크다는 것을 의미한다.

<표 4-18> 불확실성에 따른 최적 탄소세(2015년, US\$/tCO₂)

| 구분 | 결정론적 (Deterministic) | 불확실성 (Uncertainty) | 수동적 학습 (Passive learning) | 능동적 학습 (Active learning) |
|------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|
| DICE 피해비용 함수 | 32.0 | 39.0 | 37.6 | 35.8 |
| Weitzman 피해비용 함수 | 37.7 | 201.2 | 56.4 | 43.2 |

자료: Hwang et al.(2016b), p.38.

다) 불확실성하에서의 기후변화 정책결정

불확실성은 기후변화 정책을 수립하는 데 있어 다음과 같은 것들의 필요성을 부각시킨다. 첫째로 불확실성하에서는 통합적 접근(integrated assessment)의 필요성이 증가한다. 불확실성이 개별 요소에 미치는 영향은 시스템 내에서 상호작용에 따라 증폭되거나 상쇄될 수 있으며, 시스템의 특성에 따라 달라질 수 있기 때문이다. 이와 관련하여 기후변화 경제학에서는 기후경제통합평가모형(IAM: Integrated Assessment Model of climate and the economy)을 개발하여 활발히 활용하고 있는데, IAM은 기본적으로 기후시스템과 경제시스템의 상호작용을 고려해 최적의 기후변화 정책을 수립하는 것을 돕는 유용한 도구이다. 현재 IAM에서는 과학적 불확실성과 경제적 불확실성 등이 주로 분석되고 있으며, 이러한 불확실성

들이 시스템 내에서 미치는 영향이 모형 내에서 다뤄지고 있다. IAM의 종류 및 구성요소 등에 대한 보다 자세한 설명은 황인창(2015)을 참고할 수 있다.

불확실성하에서 기후변화 정책은 실행-학습을 통한 반복적(iterative) 접근을 요구한다. 미래가 불확실한 경우 불확실성이 해소될 때까지 (비가역적인) 선택을 연기하는 것이 사회 전체의 후생을 높일 수 있는 방법이 되기 때문이다(Arrow and Fisher, 1974). 이와 관련하여 최근 정보, 학습, 유연성의 중요성이 더욱 증가하고 있다.

최근 불확실성과 관련하여 강조되고 있는 정책수립 방향은 견고한(robust) 의사결정이다. 견고한 의사결정은 다양한 상황 하에서도 우수한 성과를 보이는 정책을 의미하는 것으로, 기후변화에 관한 여러 다양한 시나리오에 대해 보편적으로 우수한 정책(또는 후회의 정도가 가장 낮은)을 수립하는 것이 각광받고 있다.

또한 불확실성과 관련하여 후회 없는 선택(no-regret)을 하는 것도 주목받고 있다. 미래의 기후변화가 현재 예상한 것보다 훨씬 큰 피해를 일으키거나 반대로 현재 예상한 것보다 훨씬 적은 피해를 일으킨다면, 지금의 정책들은 특히 대규모 자본투자(고정비용)를 포함하는 수단들은 큰 후회를 일으킬 수 있다. 따라서 불확실성이 해소되기 전까지는 대규모의 비용투자보다는 공편의 등을 유발할 수 있는 투자를 우선시하고, 역량강화 등에 투자하는 것이 더 효과적일 수 있다. 역량강화는 감축과 적응 모두에 영향을 미칠 수 있다는 점에서 효과적인 수단이다.

라) 불확실성과 전통지식

앞서 살펴본 불확실성하에서 요구되는 정책들의 특징과 전통지식의 특징은 상당부분 겹치는 영역이 존재한다. 전통지식은 지역사회 시스템 내에서 통합적 접근이 반영된 지식이며, 오랜 시간에 걸쳐 실행-학습의 반복을 통해 축적된 지식이기 때문이다. 또한 전통지식은 지역의 특수성이 반영되어 최적화된 수단이라고 할 수 있다. 전통지식은 일반적으로 현대기술이나 고차원기술보다 비용효과적인 특성을 갖고 있어 후회 없는 선택의 원칙에 부합된다. 또한 전통지식은 지역사회 구성원들에게 친숙하고 활용하는 과정에서 지역사회 구성원의 참여를 유도할 수 있기 때문에 역량강화 측면에서도 유용하다.

라. 전통지식 활용 사례

전통지식은 <그림 4-4>에서 제시한 바와 같이 기후변화 정책 수립의 다양한 단계에서 활용될 수 있다. 현재까지는 대부분 관측과 평가 측면에서 활용되어 왔는데 대표적으로는 북국의 기후변화 연구(ACIA, 2005), 태평양 해양자원관리 연구(Johannes, 1978, 2002)등이 있다. 부문별로는 생물다양성 보전 및 야생동물관리(Freeman and Carbyn, 1988; Berkes, 2012), 해양자원관리(Hickey, 2006; Haggan et al., 2007), 지역개발 및 혼농임업(Falanruw et al., 1989; Scoones et al., 1994; Sillitoe and Bicker & Pottier, 2002), 의료 및 보건(Ford et al., 2010; Pourchez, 2011), 영향평가(Sadler and Boothroyd, 1994; Usher, 2000), 자연재해 예방 및 대응(Shaw et al., 2008) 부문 등에 전통지식과 기술이 적용되고 있다.

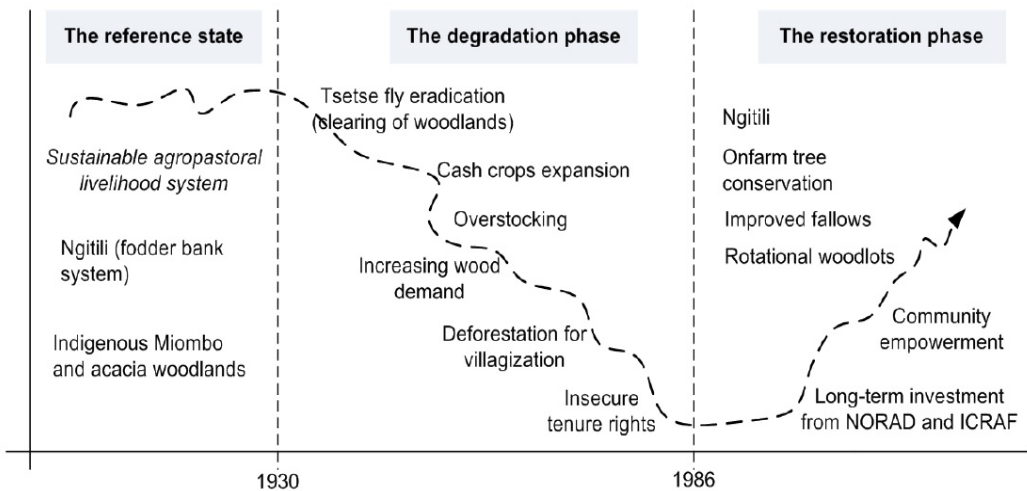
구체적인 사례로 호주에서는 WALFA(Western Arnhem Land Fire Abatement) 프로젝트를 수행하는 과정에서 전통지식을 활용하고 있다. 호주에서는 산불이 호주 전체 온실가스 배출량의 2%를 차지하는데, <그림 4-6>과 같이 지역주민의 전통적인 토지관리 방안을 활용해 산불을 관리하고 있다. 이 과정에서 생태계 보호를 통해 기후변화 적응 효과도 거두고 있다. 지역주민 40명을 산불관리를 위해 고용하고 있으며 발전회사인 Conoco Phillips와 계약을 통해 산불관리로 인한 탄소상쇄분을 판매하고 있다. 상쇄권 판매 수익의 일부는 지역주민에게 환원한다. WALFA 프로젝트를 통해 호주에서는 연간 10만 톤의 온실가스를 감축하고 있으며 100만 호주달러의 수입을 거두고 있다(Green and Minchin, 2012).



자료: <http://www.savanna.org.au/nailsma/projects/walfa.html>, 검색일: 2016.11.7.

<그림 4-6> 호주 WALFA 프로젝트

탄자니아에서는 Ngitili 사업을 통해 온실가스 감축과 기후변화 적응의 공편익을 발생시키고 지역주민의 소득을 증대하는 효과를 거두었다(Duguma et al., 2014). Ngitili는 탄자니아의 전통적인 초지관리 방식을 의미하는데, <그림 4-7>에 나타난 바와 같이 1930년대 이후 전통 경작방식이 비현대적이고 해충 등이 발생한다는 이유로 줄어들었다가 1986년 이후 전통 경작방식의 유용성을 재인식하면서 다시 도입했다. Ngitilli 사업은 ICRAF(International Centre for Research in AgroForestry) 및 노르웨이 정부의 재정지원 등을 통해 진행되었으며, 이 사업을 통해 매년 2,300만 톤의 탄소를 포집하고 수자원 및 식량자원 확보와 같은 적응 효과도 거둘 수 있었다. 탄자니아에서는 REDD+ 사업과 연계하여 2억 3,700만 달러의 수익을 거두었으며, 이를 통해 지역사회의 소득이 다른 지역에 비해 60% 이상 향상되었다(Duguma, L. et al., 2014).



자료: Duguma, L. et al.(2014), p.62.

<그림 4-7> 탄자니아 Ngitili 경작방식 복원 과정

국내에서도 전통지식을 활용할 수 있는 사례는 다수 존재한다. 대표적인 예로 <그림 4-8>과 같은 전통 마을 숲이 있다. 전통 마을 숲은 오염물질 정화기능(가축분뇨 등 방류 시 여과를 통한 하천정화), 산사태 피해 방지기능, 온도조절기능, 수해방지 기능, 생물다양성 확보 기능

등 다양한 기후변화 적응기능을 제공한다(이도원 외, 2004). 뿐만 아니라 온실가스 흡수원으로 서 기능하며, 가축분뇨 등 방류 시 메탄가스 흡수기능도 기대할 수 있다.



자료: 한겨레 환경생태 전문 웹, 조홍섭 기자의 물바람숲, http://ecotopia.hani.co.kr/?mid=media&category=107&document_srl=19499, 검색일: 2016.11.7.

〈그림 4-8〉 한국의 전통 마을 숲

녹색기술센터(2014)는 우리나라의 전통지식 개념을 분야별로 정리하고 전통마을의 생태적 기능을 현대적으로 분석하여 기후변화 적응과 관련한 전통지식의 가능성을 제시하였다. 예를 들어 전통마을 방죽의 유형과 구조를 분류한 후 수질정화기능 및 비점오염원 저감 등 방죽의 생태적 기능을 분석하였다. 이를 위해 경상북도 김천시 원터마을 등 우리나라 전통마을들을 대상으로 수처리 체계를 조사하여 수질오염 정화방법과 과정을 정리하였다. 또한 〈그림 4-9〉에서 제시한 바와 같이 경북궁의 향원지와 경회루 연못의 빗물 저류기능 등 전통방식의 방재시스템을 소개하였다. 구체적인 방재 기능요소로 높은 낙차 단과 불규칙한 석축 배열 등을 제시

하였고, 이를 통해 물의 유속을 저감하고 지면에 흡수시켜 폭우에도 빗물이 일시적으로 한 곳에 집중되는 것을 막을 수 있다고 설명하였다.



자료: 녹색기술센터(2014), p.88.

〈그림 4-9〉 경복궁 경회루 연못의 방재와 수처리 시스템

마. 국내 전통지식 활용방안

국내에서 전통지식을 활용하기 위해서는 먼저 전통지식에 대한 인식의 전환이 중요하다. 점차 현대화되고 고급 기술이 각광받는 시대에 전통 지식과 기술은 소외되기 쉽기 때문이다. 이러한 점에서 다음과 같은 과학자들의 언급은 전통지식을 대하는 현대인의 인식 개선에 도움이 될 것이다.

“에스키모는 과학자이다. 그들의 주요한 관심사는 환경과 그곳에 살고 있는 동물들의 비밀을 발견하는 것이다... 우리에게 이해할 수 없어 보이는 것은 우리의 지식과 이해가 부족하기 때문일 것이다.”(Nelson, 1969).

“거의 모든 수산업에 관한 국제 규약에서 제시된 수단들은 실제로 열대 태평양에서 수세기 이전부터 실행해온 것들이다.”(Johannes, 1978).

“지역사회 전통지식에 기반한 해양자원관리의 르네상스”(Johannes, 2002).

국내에서 전통지식을 활용할 수 있는 방안으로는 첫 번째로 기후변화 정책을 수립하고 시행하는 단계별로 전통지식 또는 기술의 발굴 및 활용이 필요하다. 앞서 살펴본 바와 같이 UNFCCC(2013)에서는 총 35개의 전통지식 활용 사례를 제시하였으며, UNFCCC(2009)는 적응 기술의 유형을 분류하면서 전통지식이 현재 사용되는 기술 유형 중 약 41%를 차지한다고 보고했다. 이처럼 전통지식은 실제로도 다양하게 활용되고 있으며 기후변화와 관련하여 그 중요성이 점점 더 커지고 있다. 국내에서 전통지식을 활용하기 위해서는 먼저 전통지식의 중요성을 인식하고 이를 발굴하려는 노력이 필요하다.

두 번째로는 발굴된 전통지식별로 감축 효과와 적응 효과를 정량화할 필요가 있다. 실제로 기후변화 대응정책에 활용하려면 그 효과를 검증할 수 있어야 한다. 구체적으로 앞서 살펴본 전통 마을 숲과 관련해서 전국의 마을 숲 현황을 조사하고 마을 숲이 제공하는 온실가스 감축 및 기후변화 적응 기능을 정량화할 필요가 있다. 이미 미국과 아시아 국가들에서는 이와 관련한 다양한 연구들이 진행되고 있다(Schoeneberger et al., 2012; Suzuki, 2012).

세 번째로 전통지식이나 기술에 관한 공유 플랫폼을 구축할 수 있다. 실제로 UNESCO에서는 <그림 4-10>과 같은 전통지식 공유 플랫폼을 운영하고 있다. UN의 식량농업기구(Food and Agriculture Organization)에서도 유사한 플랫폼을 구축하고 있다.³²⁾

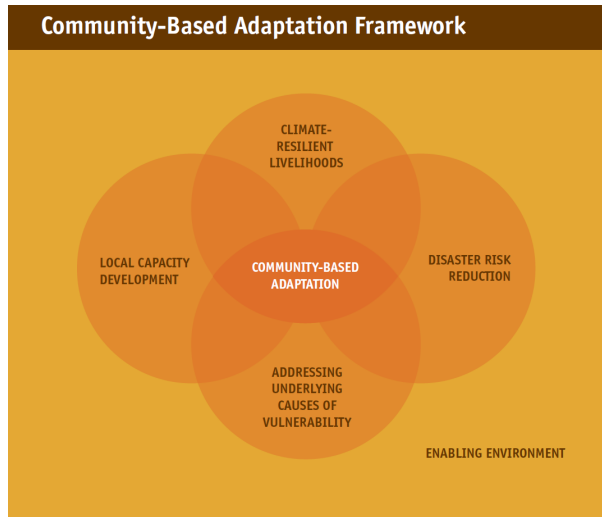
32) Family farming knowledge platform, <http://www.fao.org/family-farming/en>, 검색일: 2016.11.12.

The screenshot shows the UNESCO website's 'Local and Indigenous Knowledge Systems' (LINKS) page. The page features a navigation menu with categories like 'Natural Sciences', 'Social and Human Sciences', 'Culture', 'Communication and Information', and 'Media Services'. The main content area is titled 'INDIGENOUS KNOWLEDGE AND CLIMATE CHANGE' and includes logos for UNESCO, climate frontlines, CNRS, IPACC, and ICGEB. A central text block announces an international conference on indigenous knowledge and climate change in Marrakesh, Morocco, in November 2016. Below this, there are sections for 'NEWS' and 'HIGHLIGHTS' with various articles and reports. A sidebar on the right contains 'ABOUT LINKS' and 'Just Published' sections. The page also includes social media icons for Twitter, YouTube, Facebook, LinkedIn, and RSS.

자료: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/priority-areas/links/>,
 검색일: 2016.11.7.

〈그림 4-10〉 UNESCO 전통지식 플랫폼

네 번째로 전통지식을 활용하여 지역사회 기후변화 계획 수립을 도울 수 있는 모형을 개발할 수 있다. 실제로 해외에서는 CVCA(Climate Vulnerability and Capacity Analysis)라는 모형(Daze et al., 2009)이 활용되고 있다. CVCA는 국제원조기구인 CARE가 구축한 모형으로, 〈그림 4-11〉과 같은 지역사회 기반 기후변화 적응 프레임워크를 적용하고 있다.



자료: CARE(2011), p.4.

〈그림 4-11〉 지역사회 기반 적응 프레임워크

CVCA 모형은 정성평가 모형으로서 〈그림 4-12〉와 같이 인터뷰나 워크숍을 통해 지역사회의 기후변화 취약성과 적응역량을 평가하는 것을 주요 목적으로 한다. 이러한 과정에서 지역사회의 전통지식을 발굴하고 적용하는 목적도 포함하고 있다.



자료: CARE(2011), p.1.

〈그림 4-12〉 CVCA 모형 적용 과정 예시

제5장 | 감축-적응 연계 모형 개발 전략

1. 개요

온실가스 감축-기후변화 적응 연계사업은 기후변화로 인한 부정적인 영향을 최소화하고 기회요인을 최대화하는 목표에 기여할 수 있어야 한다. 또한 더 나아가 감축-적응 연계전략은 IPCC 등 국제기구 보고서가 제시하고 있듯이 지역사회의 지속가능한 발전에도 도움이 되어야 한다. 앞서 제시한 온실가스 감축-기후변화 적응 연계전략을 구체적으로 실행할 때에는 개별 사업들이 이러한 목표에 얼마나 부합하는지를 판단할 수 있어야 한다.

기본적으로 기후변화 문제는 공공재로서의 성격을 갖고 있기 때문에 정부의 개입을 필요로 한다. 정부는 각종 규제수단과 정책(명령통제방식, 경제적 인센티브 등)을 통해 기후변화문제에 개입하고 (균형상태의) 기후라는 공공재를 공급한다. 정부의 재정집행을 비롯한 정책은 비용효율성이나 비용효과성 등의 측면에서 검토되어야 한다. 이를 위해 전통적으로 경제학에서는 모형을 개발하고 그 결과를 바탕으로 최적의 정책조합을 제시하거나 정책의 효과를 평가해 왔다. 온실가스 감축-기후변화 적응 연계 정책을 수립하고 시행하는 데 있어서도 이러한 분석 모형은 유용하게 활용될 수 있다.

이번 장의 연구는 향후 감축-적응 연계 모형을 개발하기 위한 기초연구의 성격을 갖고 있다. 제4장까지 살펴 본 내용들은 모형을 개발하기 위한 기초 자료로서 활용될 수 있을 것이다. 기후변화 관련 경제모형 개발을 위한 기본적인 단계 및 단계별 과업은 황인창(2015)에서 자세히 다뤄진 바 있다. 따라서 이하에서는 이러한 개별 과정에 대한 내용은 생략하기로 한다.

2. 기존 모형 비교분석

가. 기후경제 모형 현황

전 세계적으로 현재까지 개발되어 온 기후경제모형은 대부분 온실가스 감축정책을 평가하고 분석하기 위한 모형이었다. 1970년대 국제 석유시장 위기 이후 에너지 시스템을 분석하기 위한 모형이 활발히 개발되어 왔는데, 온실가스 감축모형은 이러한 에너지 모형에 기초해 개발된 경우가 많았다(Weyant et al., 2013). 에너지 모형에 기초해 개발된 기후경제모형들은 대체로 일반균형 이론에 기초한 하향식(top-down) 모형으로(CGЕ: Computable General Equilibrium), 탄소세 등 온실가스 감축정책이 경제 전반에 미치는 효과를 평가하는 데 유용하게 활용될 수 있다.

에너지 시스템 분석 모형의 경우 상향식(bottom-up) 기법도 활발하게 적용되고 있는데, 상향식 모형은 세부 부문별 기술과 그에 따른 온실가스 배출을 세부적으로 다룰 수 있다는 장점을 갖고 있다.

1990년대 이후에는 기존의 모형과는 달리 경제와 기후의 상호작용을 반영하는 새로운 형태의 기후경제모형이 개발되기 시작했다. 대표적으로 미국 예일대학교(Yale University)의 William Nordhaus 교수가 개발한 DICE 모형(Nordhaus, 1994)이 있다. 이러한 유형의 모형들은 기후경제 통합평가모형(IAM: Integrated Assessment Model)이라고 불리며, 외부효과를 내부화해 최적의 탄소세를 산출하는 데 활용되고 있다.

2000년대 이후부터는 기후변화 적응에 대한 관심이 증가하면서, 기후변화 적응을 기후경제 모형에 반영하려는 노력도 <표 5-1>과 같이 진행되고 있다. 대표적으로 DICE 모형에 적응의 요소를 추가한 AD-DICE 모형(De Bruin et al., 2009)이 있는데, AD-DICE 모형은 적응의 중요성을 강조한 OECD(2015)의 연구에서 활용되기도 하였다.

〈표 5-1〉 기후경제통합-지역평가모형 정책수단

| 구분 | 감축 | 적응 | 연구투자 | 기타 |
|-------------|----|----|------|------|
| RICE | ○ | - | - | 저축률 |
| FUND | ○ | ○ | ○ | 산림조성 |
| WITCH | ○ | ○ | ○ | 저축률 |
| MERGE | ○ | - | - | 저축률 |
| CETA-M | ○ | - | - | 저축률 |
| GRAPE | ○ | - | - | 저축률 |
| AIM/Dynamic | ○ | - | ○ | 저축률 |
| CRED | ○ | - | ○ | 저축률 |
| AD-RICE | ○ | ○ | - | 저축률 |
| PAGE | ○ | ○ | - | - |

자료: 황인창(2015), p.42.

국가 수준에서의 기후변화 적응정책을 수립하는 과정에서 사용된 기후경제모형의 예는 〈표 5-2〉와 같다. 표에서 확인할 수 있듯이 기후정책을 수립하는 과정에는 기후경제 통합평가모형(IAM), 연산가능 일반균형모형(CGE), 상향식 모형 등이 다양하게 활용되고 있다.

기존 모형들의 특징은 감축 또는 적응만을 고려하거나 감축모형에 적응 모듈을 새롭게 추가하는 등 엄밀한 의미에서의 감축-적응 연계효과를 제대로 반영하지 못하고 있다는 점이다. 아래에서는 대표적인 모형들의 특징을 좀 더 자세히 살펴본다.

〈표 5-2〉 기후변화 적응 경제모형

Table 9. Analysis of the methodological framing of the national studies considered

| Issues | NAPAs | UNDP I&FF | South-East Asia RECC | Brazil RECC | East Africa RECC | UK cross-regional | Swedish Comm. | Netherlands ARK |
|--|--|---|---|--|---|--|--|---|
| Outputs | Project lists and total costs. | Estimated changes in investments for the sector. | Benefits of adaptation (benefit:cost ratio). | Costs of adaptation (agriculture and energy) | Costs of adaptation and in some sectors costs and benefits. | Costs of adaptation in some sectors and economic benefits in two. | Adaptation investment needed over time for short- and long-term. | Ranking, plus some information on costs and benefits (PV). |
| Models/Tools | No models. | Models can be used within the framework to provide a more detailed analysis. | Integrated assessment models for climate /impacts. PAGE02 for economics. | Suite of models. Economic Forecasting Equilibrium System. | Suite of models including PAGE and FUND IAM plus sector based models (DIVA, WEAP). | Sectoral models. | Sectoral models and GCM though adaptation based on engineering analysis | Database and expert elicitation (workshops). |
| Orientation (sector/other) and coverage | Usually sectoral orientation, though also cross-sectoral coverage. | Sectoral guidance for forestry, agriculture, water, health, biodiversity, fisheries, tourism and coastal zones. | Qualitative analysis covers agriculture, water, coastal zone, forests and health. | Macro-economic plus energy, agriculture, land use, ecosystem services and coastal zones. | Health, agriculture, water, coastal zones, built environment, and ecosystem services. | Health, transport, built environment & cultural heritage, agriculture, biodiversity, water resources, tourism, and energy. | Infrastructure, forestry, livestock, drinking water, fisheries, health, built environment, and extreme events. | Agriculture, nature, water, energy & transport, housing & infrastructure, health, recreation and tourism. |
| Geographical scale/ level of disaggregation | National or large sub-region, down to project level. | National. | Regional group for South-East Asia in IAM. | National, with disaggregated data and regional consideration. | Different aggregation and analysis at regional, country and local level. | National, with regional disaggregation. | National, with high disaggregated analysis for impacts. | National. |

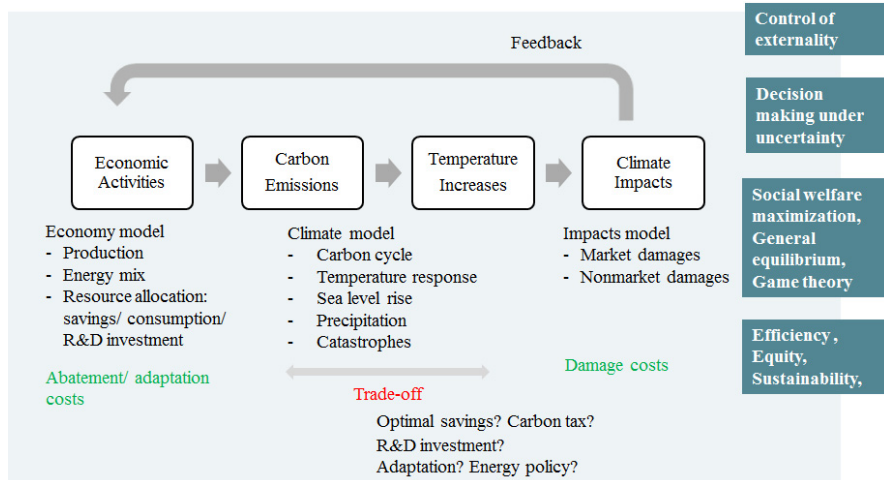
Abbreviations: ARK = Dutch National Programme for Spatial Adaptation to Climate Change (Nationaal Programma Adaptatie Ruimte en Klimaat), CGE = computable general equilibrium, GCM = general circulation model, IAM = Integrated Assessment Models, I&FF = Investment and Financial Flow analysis, NAPAs = national adaptation programmes of action, PV = present value, RECC = Regional economics of climate change, UNDP = United Nations Development Programme

자료: UNFCCC(2009), p.54.

나. 기후경제 통합평가모형

일반적인 기후경제 통합평가모형(IAM)은 〈그림 5-1〉과 같은 구조를 갖고 있다. 물론 모형마다 목적에 따라 일부 요소를 추가하거나 삭제할 수 있다.³³⁾ 다른 유형과 비교할 때 기후경제 통합평가모형의 가장 큰 특징은 기후모듈과 경제모듈이 함께 포함되어 있어 둘의 상호작용을 분석할 수 있다는 점이다. 경제성장 과정에서 발생하는 온실가스가 지구의 복사강제력을 증가시켜 기온이 상승하고, 기온 상승은 기후변화 피해비용을 발생시켜 경제계에 영향을 미치는데 IAM에서는 이러한 순환과정을 내부적으로 분석할 수 있다.

33) 개별 요소에 대한 보다 자세한 내용은 황인창(2015)을 참고할 수 있다.

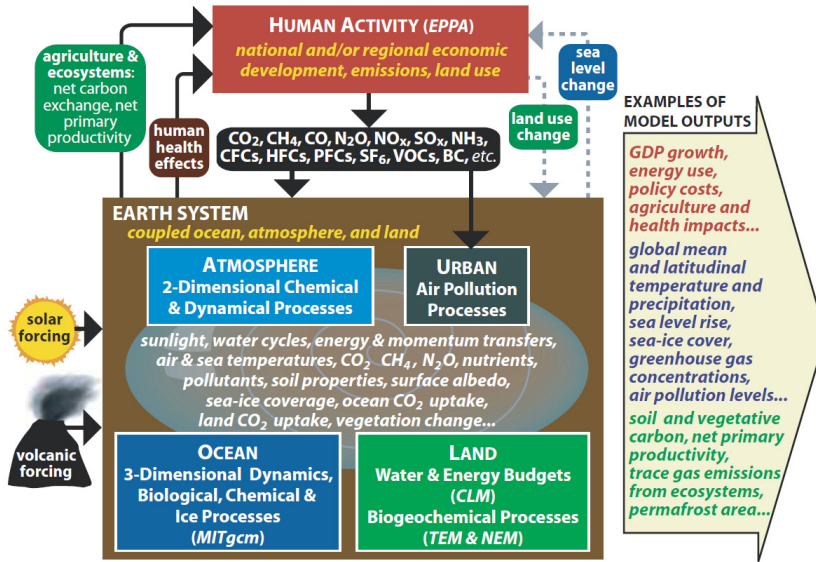


자료: 황인창(2015), p.64.

〈그림 5-1〉 기후경제통합평가모형

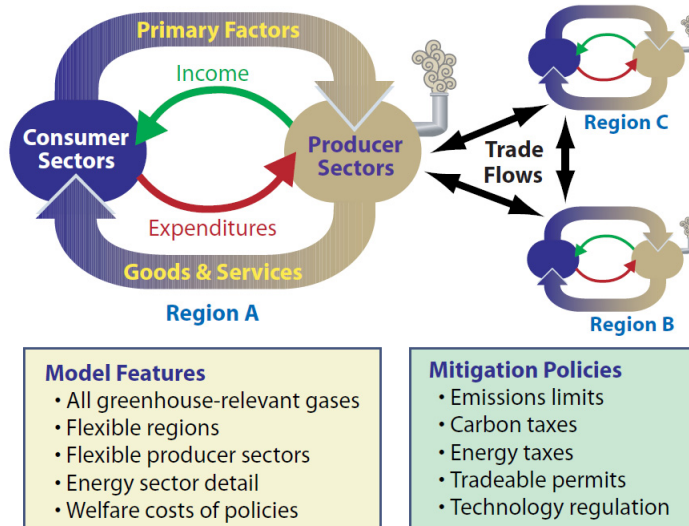
기후경제통합평가모형은 단순한 형태인 DICE모형(Nordhaus, 2008)에서부터 복잡한 형태인 MIT IGSM2 모형(Sokolov et al., 2005)에 이르기까지 다양하다. 구체적으로 DICE 모형은 경제모듈과 기후모듈을 단순화하여 6개의 기본 방정식과 2개의 제어변수, 6개의 내생 상태변수, 8개의 외생변수로 구성되어 있다(Hwang, 2017). 반면 IGSM2 모형은 〈그림 5-2〉에서와 같이 EPPA 모형, MITgcm 모형, CLM 모형, TEM&NEM 모형 등을 연결한 형태로 대규모 연산과정을 필요로 한다. 개별 모형들은 고유의 연산과정을 갖고 있는데, 예를 들어 〈그림 5-3〉에 나타난 바와 같이 경제계 모듈인 EPPA 모형(Palstev et al., 2005)의 경우 CGE 기법을 통해 모형의 결과를 산출한다.

IGSM2 모형에서 온실가스 감축은 EPPA 모형에서 고려되며, 경제활동의 변화에 따른 기후 변화 영향과 적응은 토지이용 모형 등이 포함된 지구시스템 모형에서 반영된다. 대기와 해양의 경우 지구순환모형(Global Circulation Model)으로 격자(grid) 단위의 결과 값을 산출한다. 개별 모형 간에는 모형의 결과물이 전달되는 형태로 연계가 이루어지고 있다.



자료: Sokolov et al.(2005), p.3.

<그림 5-2> MIT IGSM2모형

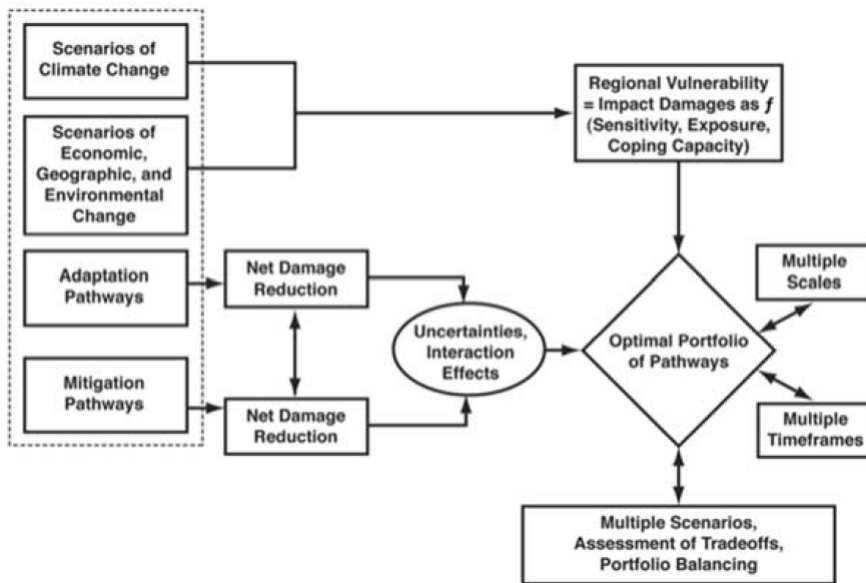


자료: Palstev et al.(2005), p.5.

<그림 5-3> MIT EPPA모형

다. 미국 ORLN CLIR 모형

미국 ORLN(Oak Ridge National Laboratory)에서는 온실가스 감축과 기후변화 적응의 최적경로를 산출하기 위해 <그림 5-4>와 같은 구조를 갖는 CLIR(CLimate Impact Response) 모형을 개발해 왔다.



자료: Wilbanks et al.(2007), p.719.

<그림 5-4> CLIR모형

CLIR 모형은 미국 에너지부(Department of Energy)가 구축한 47개의 감축경로 (mitigation pathway)와 ORLN 자체적으로 구축한 73개의 적응경로(adaptation pathway), 기후변화 시나리오, 사회경제 시나리오를 입력 자료로 하여 최적의 기후변화 대응 정책 조합을 산출하도록 설계되었다. 모형은 산업의 경우 2-digit 단위로 결과를 산출하며, 지역은 미국 17개 지역(6개 대 지역) 단위로 결과를 산출한다. CLIR 모형의 적응경로의 예는 <표 5-3>과 같다.

〈표 5-3〉 CLIR모형 적응경로 예

Table 1 Adaptation pathways

Cross-cutting adaptation pathways

- improve market signals related to climate variability and change
- strengthen mechanisms for sharing losses
- improve climate prediction and weather forecasting
- improve environmental monitoring
- improve emergency preparedness and response
- improve information dissemination, outreach, and other forms of public education
- support research for ‘‘sustainability science’’
- improve capacities to assess adaptation needs and responses

Food sector adaptation: agriculture, ranching, fishing

Farming and ranching

- alter mix and/or diversity of species
- alter management practices, including inputs
- shift location of production
- change land surface configuration
- provide financial incentives/mechanisms for increasing resiliency, removing impediments, improving information systems
- assure market linkages and integration to strengthen response capacities and share risks
- develop improved species and seed/gene banks to cope with possible changes and stresses
- assure agricultural and veterinary services to respond to changes in conditions

Fishing

- change and/or improve species
- change equipment to increase resource-use efficiency
- change management structures and regulatory provisions, including frameworks defining fishing rights
- protect critical habitats
- provide financial assistance for increasing resiliency
- increase use of aquaculture

주: 적응경로의 일부를 나타낸 것으로 이 밖의 모든 적응경로는 Willbanks et al.(2007)을 참고할 수 있음
 자료: Wilbanks et al.(2007), p.716.

CLIR 모형에서 최적의 정책조합을 찾아가는 방식은 〈그림 5-5〉를 통해 이해할 수 있다. 온실가스 감축은 기후변화의 위험(hazards)을 줄여 준다. 적응정책은 기후변화에 대한 민감도(sensitivity)를 줄이고 적응역량(adaptive capacity)을 높임으로써 기후변화 취약성(vulnerability)을 줄여 준다. 또한 기후변화에 대한 노출(exposure)도 줄여 준다. 따라서 기후변화에 따른 피해비용은 위험, 민감도, 적응역량, 노출을 인자(argument)로 하는 함수라고 정의할 수 있다. 이러한 정의 하에서 감축 경로와 적응 경로별로 인자들을 정량화하면 기후변화 피해비용 함수를 산출할 수 있다. CLIR 모형은 기존 연구들을 목록화한 데이터베이스(DB)와 전문가 판단 등을 통해 피해비용 함수를 추정하고 수치화하였다. 이렇게 구축한 피해비용함수를

바탕으로 GAMS 소프트웨어(Rosenthal, 2015)를 통해 2100년까지의 최적 감축-적응 조합 경로를 산출하였다. 수리모형의 해를 얻기 위해서는 동적프로그래밍(dynamic programming) 기법(Bellman and Dreyfus, 1962)을 사용했다.

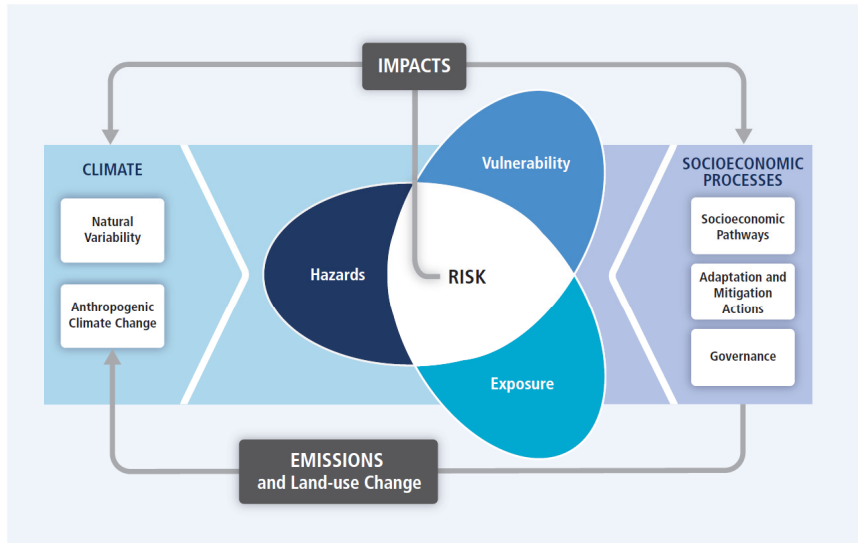


Figure SPM.1 | Illustration of the core concepts of the WGII AR5. Risk of climate-related impacts results from the interaction of climate-related hazards (including hazardous events and trends) with the vulnerability and exposure of human and natural systems. Changes in both the climate system (left) and socioeconomic processes including adaptation and mitigation (right) are drivers of hazards, exposure, and vulnerability. [19.2, Figure 19-1]

자료: IPCC(2014), p.3.

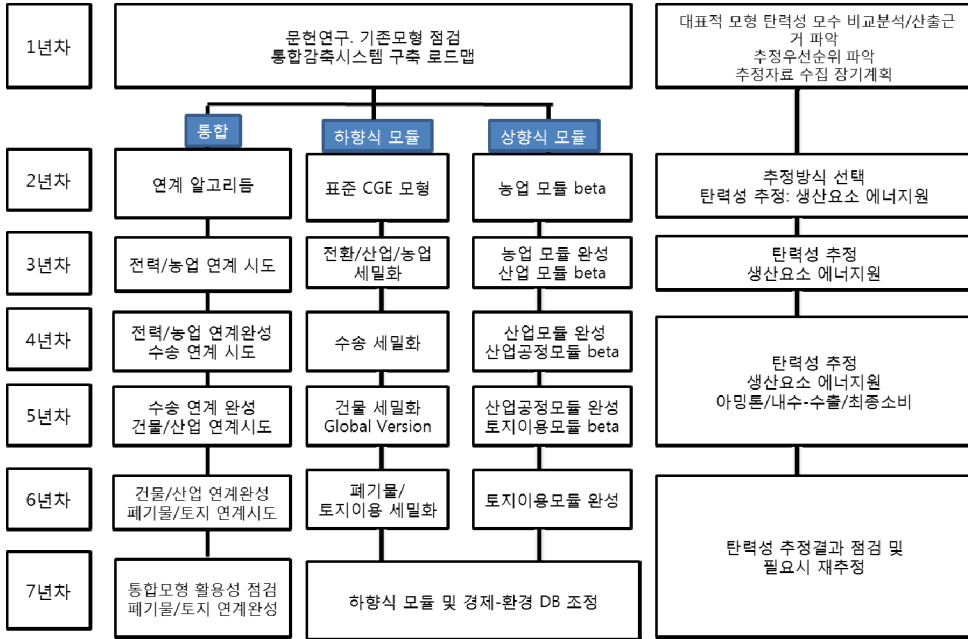
〈그림 5-5〉 기후변화 리스크

라. 국내모형

1) 감축모형

국내에서는 환경부 기후변화대응 환경기술개발사업의 일환으로 ‘한국형 상하향식 온실가스 통합 감축 시스템 개발’ 과제가 2014년부터 수행되고 있다(김용건 외, 2016). 과업의 주요 목표는 〈그림 5-6〉과 같이 7개년에 걸쳐 발전, 수송, 산업, 농업, 건물, 폐기물, 토지 등 주요 분야의 온실가스 감축 상향식 모형과 CGE 기반 하향식 모형을 통합한 감축 모형을 개발하는 것이다. 과제에 사용되는 상향식 모형은 대체로 LP(linear programming) 또는 PMP(positive

mathematical programming) 기법을 활용한 최적화 모형이다. 하향식 모형은 외부에서 주어진 탄소세 혹은 온실가스 감축목표가 경제 시스템에 미치는 영향을 분석할 수 있는 일반균형 기법을 적용한다. 현재는 상향식 모형과 하향식 모형의 연결을 위한 알고리즘을 개발하고 있다.



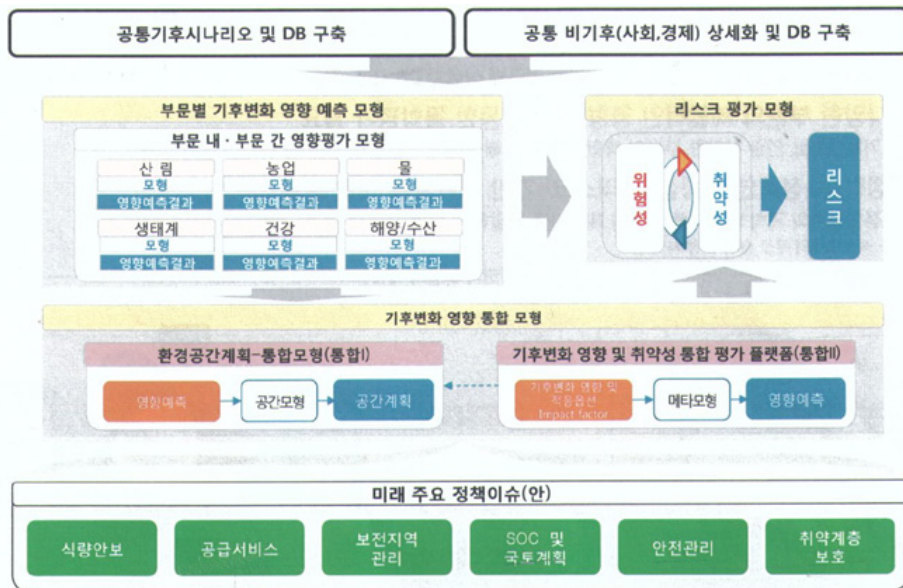
자료: 김용건 외(2016), p.3.

〈그림 5-6〉 한국형 상·하향식 온실가스 통합 감축모형

CGE 모형의 경우 기본적으로 산업연관표상에 제시되어 있는 산업구분을 기초로 하여 산업을 구분하고 있으며, 지역 구분은 농업 등 일부 상향식 모형에서만 광역지자체 수준에서 하고 있다. 개별 상향식 모형에서는 온실가스 감축과 관련된 기술요소들의 선택이 이뤄지며 기후변화 적응에 관한 선택은 이뤄지지 않는다. 온실가스 배출은 기본적으로 에너지 소비량에 배출계수를 반영하는 형태로 산출되며, 농업과 산업 부문 등에서는 비에너지 소비에 따른 온실가스 배출도 고려하고 있다.

2) 적응모형

국내에서는 환경부 기후변화대응 환경기술개발사업의 일환으로 ‘부문별 기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 개발’ 과제를 2014년부터 수행하고 있다. 이 과제는 <그림 5-7>에 나타난 것처럼 7개년 동안 산림, 농업, 물, 생태계, 건강, 해양/수산 등 개별 분야의 기후변화 영향 및 적응모형을 개발하고 이를 연결시키는 것을 목표로 한다. 전체 모형은 기본적으로 기상청 등 외부기관에서 발표한 기후전망 시나리오와 사회경제 시나리오를 입력 자료로 하여, 기후변화라는 외부의 충격에 대해 개별 부문들이 어떻게 반응하고 그 영향을 흡수하는지 살펴볼 수 있도록 설계되었다. 통합모형은 최적의 해를 찾는 과정을 포함하지 않는 시뮬레이션(simulation) 모형이라고 할 수 있다. 부문별로는 GIS 기반으로 1km × 1km 격자 단위의 아주 세밀한 해상도로 결과를 제시한다. 적응 통합 모형은 기후변화의 영향과 적응에 초점을 둔 모형으로 온실가스 감축은 반영하지 않으며, 경제시스템과의 연결고리 없이 외부에서 주어지는 사회경제 시나리오를 모형에 직접 반영한다.



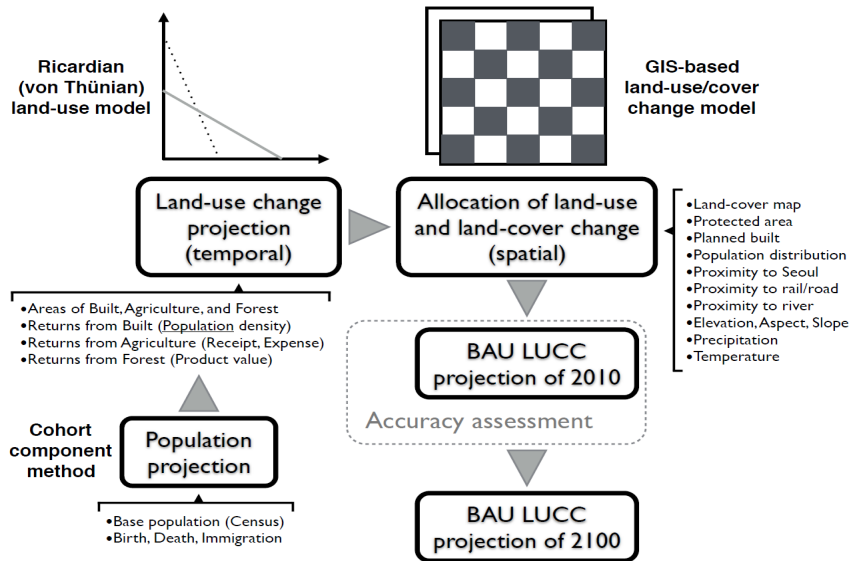
자료: 송영일(2016), p.4.

<그림 5-7> 부문별 기후변화 영향 및 취약성 통합평가모형

3) 토지이용 모형

온실가스 감축 모형과 기후변화 적응 모형을 연결할 수 있는 고리는 토지이용 모형이라고 할 수 있다. 실제로 기후변화대응 환경기술개발사업의 온실가스 감축 모형에서는 6차년도부터 토지이용 모듈을 추가하려고 하고 있으며, 기후변화 영향 및 적응모형에서는 통합환경공간계획 모듈을 갖고 있다. 그러나 아직 모형을 개발하는 단계라서 감축모형의 토지이용 모듈과 적응모형의 통합환경공간계획 모듈이 어떻게 구성될 것인지 현재로서는 확인하기 어렵다. 따라서 이하에서는 기존에 개발되어 있는 토지이용 모형을 좀 더 살펴보기로 한다.

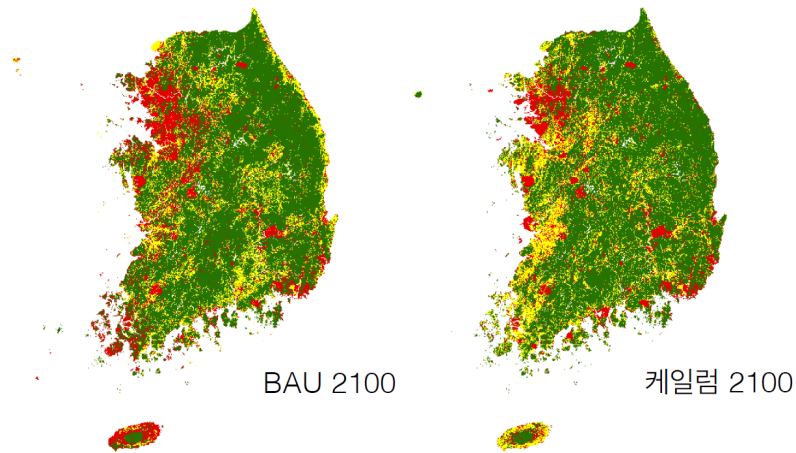
국내에서는 한혜진 외(2011), 전성우 외(2013), 채여라 외(2016), 김오석 외(2016) 등이 토지이용예측 모델을 개발하고 활용해 왔다. 한혜진 외(2011), 전성우 외(2013)의 연구는 국가 전체를 포괄하기 보다는 일부 지역(예를 들어 경안천 유역)에 대한 연구라는 한계가 있다. 채여라 외(2016)의 연구는 모형의 구조는 한혜진 외(2011)와 동일하나 전국을 대상으로 하였다는 점이 특징이지만, 모형 내에 인구변화와 토지이용모형 간의 연동이 없다는 한계점이 있다(김오석 외, 2016). 김오석 외(2016)는 <그림 5-8>과 같이 계량경제모형을 통한 장래인구변화 예측과 지리모형을 통한 토지이용 변화를 통합하여 분석할 수 있는 토지이용통합모형(KEI-ILUM)을 개발하였다.



자료: 김오석 외(2016), p.11.

<그림 5-8> 토지이용통합모형 KEI-ILUM 구조

KEI-ILUM모형의 결과는 <그림 5-9>와 같이 산출된다. 특정 시나리오에 따른 장래 어느 시점에서의 토지이용 변화를 BAU 시나리오와 대비하여 살펴볼 수 있다. 이처럼 KEI-ILUM모형은 기후변화나 특정한 개발압력이 주어졌을 때 토지이용의 변화를 살펴볼 수 있기 때문에, 기후변화와 개발에 따른 탄소흡수량의 변화를 산출하는 데 유용하게 활용할 수 있다.



자료: 김오석 외(2016), p.46.

<그림 5-9> KEI-ILUM모형 결과 예시

3. 모형 개발 고려요소

가. 기존 모형과의 연계성

국내에서 온실가스 감축-기후변화 적응모형을 개발하기 위해서는 다음과 같은 요소들을 고려해야 한다. 우선 기존 모형과의 연계성을 검토해야 한다. 앞서 살펴보았듯이 국내에서는 기후변화대응 환경기술개발사업의 일환으로 감축모형과 적응모형이 각각 7개년에 걸쳐 개발되고 있는 중이다. 또한 채여라 외(2016)는 사회경제시나리오를 구축하였다. 토지이용의 경우 김오석 외(2016)가 KEI-ILUM 모형을 개발하였다. 기존에 개발된 모형들과 감축-적응 연계모형이 어떻게 연계될 수 있을지 검토하고, 그것이 가능하다면 기존의 모형들을 활용할 수 있는 방안을 마련하는 것이 가장 효과적인 방식이 될 수 있다.

나. 모형의 활용방안

모형을 개발할 경우 그것을 어떤 목적으로 활용할지를 검토해야 한다. 감축-적응 연계 모형의 개발목적이 개별 사업을 평가할 목적이라면 상향식 모형을 개발하는 것이 타당할 것이다. 상향식 모형의 경우 기술선택을 효과적으로 반영하고 있으며 연구 목적에 따라 충분한 해상도를 가질 수도 있기 때문이다. 3장에서 살펴본 미국 농림부의 COMMET-Farm 모형이 그 예가 될 수 있다. 국내에서는 산림, 농업 등 개별 부문에서 사용할 수 있는 감축-적응 연계모형을 유사한 형태로 개발하는 과정을 검토할 수 있다.

최적의 감축-적응정책 조합을 도출하는 것이 연계 모형 개발 목적일 수 있다. 이러한 경우에는 미국의 CLIR 모형처럼 개별 감축 또는 적응 경로별로 기후변화 피해비용을 산출하고 이를 통해 최적 경로를 도출하는 방식이 효율적일 수 있다. 물론 이 경우 감축경로와 적응경로의 공편의 효과를 반영해야 한다.

감축-적응 연계모형을 개발하는 목적이 독자적으로 탄소세 또는 온실가스 감축목표량을 정하고 국제 기후변화 협상에서 활용하기 위한 것일 경우에는 기후경제통합-지역평가모형(Regional IAM)을 개발하는 것이 적합할 것이다. 대표적인 예는 AD-RICE 모형(De Bruin, 2014)이 될 수 있다. 기후경제통합-지역평가모형에 적응 요소와 연구투자 요소를 모두 반영할 경우 온실가스 감축, 기후변화 적응, 연구투자 등에 대한 최적의 예산배분 방식도 산출할 수 있다. 미국과 영국에서는 IAM 모형을 바탕으로 탄소세 요율을 산정하고 있으며, 황인창(2015)은 국내의 기후경제통합-지역평가모형 개발전략을 제시한 바 있다.

경제와 기후의 상호작용을 반영한 최적의 기후변화정책을 도출하기보다는 주어진 탄소세나 온실가스 감축 목표, 기후변화 적응 목표가 경제 전반에 미치는 파급효과를 분석하는 것이 목적이라면, CGE 기법을 기반으로 한 모형을 개발하고 적응 요소를 반영하는 형태가 적절할 것이다. 현재 기후변화대응 환경기술개발사업에서 진행되고 있는 감축모형과 적응모형의 결과들이 서로의 모형으로 전달될 수 있도록 알고리즘을 개발한다면, 이러한 목적 하에서의 감축-적응 연계모형이 구축될 수 있을 것이다.

마지막으로 대국민 홍보나 교육, 인식개선이 목적이라면 전 지구 모형인 AD-DICE(De Bruin et al., 2009) 모형의 형태를 개발하는 것이 적합하다. 상대적으로 전 지구 모형은 개발이 쉽고 모형이 가벼워 연구의 목적에 따라 다양한 형태로 변형시킬 수 있다는 장점이 있다.

다. 상향식 vs. 하향식

제2장에서 살펴본 바와 같이 온실가스 감축과 기후변화 적응은 기본적인 특징을 달리한다. 이러한 점은 모형을 개발하는 과정에도 반영되어야 한다. 기후변화 적응의 경우 그 특성상 상향식 접근법이 필요하다. 이는 대부분의 기후변화 적응이 지역수준에서 결정되며, 지역 여건에 따라 적응 수단의 경제성(비용과 편익)의 편차가 크기 때문이다. 반면 온실가스 감축은 대체로 국가 수준에서 결정되며 기술의 보편성으로 인해 지역에 따른 경제성의 편차가 심하지 않다.

한편, 기후변화는 전 지구적인 문제이므로 하향식 접근법도 필요하다. 구체적으로 경제활동과의 상호관계(경기변동, 파급효과), 기후변화 시나리오, 탄소의 사회적 비용 등은 모두 하향식 모형에서 산출될 수 있는 요소이다.

이렇듯 온실가스 감축과 기후변화 적응을 연계하기 위해서는 상향식 접근법과 하향식 접근법이 모두 요구되기 때문에 이상적으로는 상·하향식을 통합하는 모형을 개발하는 것이 필요하다. 이러한 접근법은 현재 기후변화대응 환경기술개발사업에서 개발 중인 감축모형에서 취하고 있는 방식이다.

라. 알고리즘

국내에서 온실가스 감축-기후변화 적응모형을 개발하기 위해 마지막으로 고려해야 할 요소는 감축-적응 연계 알고리즘이다. 구체적으로는 주어진 탄소세나 온실가스 감축 목표, 기후변화 적응 목표가 경제에 미치는 파급효과를 분석하기 위해 기후변화대응 환경기술개발사업에서 개발 중인 감축모형과 적응모형을 연결하는 경우, 상향식과 하향식 모듈을 연결하는 알고리즘을 개발해야 한다(상하향식 통합 알고리즘). 또한 감축모형과 적응모형을 연결하는 알고리즘(감축-적응 연계 알고리즘)을 개발해야 한다.

4. 기존 모형과의 연계 가능성 검토

가. 기후변화대응 환경기술개발 사업 모형과의 연계 가능성

기후변화대응 환경기술개발사업에서 개발 중인 감축 모형의 경우 부문별 상향식 모형에 기후변화 적응 요소를 반영하는 것을 우선 검토할 수 있다. 이때 현재 개발 중인 모형에는 포함되지 않는 산림 등 분야의 경우에는 미국 농림부의 모형 등을 참고해 개발할 수 있다. 그러나 현재 기후변화대응 환경기술개발사업에서 개발 중인 감축 모형의 해상도는 대체로 국가 또는 광역지자체 수준인데 반해, 적응 정책에서 요구하는 해상도는 대체로 기초 지자체 단위라는 문제점이 있다. 따라서 이러한 해상도의 차이를 모형에서 반영할 수 있는 방식을 검토해야 할 것이다. 토지이용 모형에서 활용하는 GIS 기반 방법론에 대한 검토도 필요할 것이다.

기후변화대응 환경기술개발사업에서 개발 중인 감축 모형과 적응모형을 연계하는 것과 관련해서는 다음의 요소들을 고려해야 한다. 우선 두 모형의 특징이 상이한데 감축 모형의 특징은 다음과 같다.

- CGE에 기초한 하향식과 최적화 기법에 기초한 상향식의 통합
- 기후요소 고려 없음
- 국가 또는 광역수준(농업 등 일부분야) 분석
- 외부에서 주어지는 탄소세에 따른 경제파급효과 산출

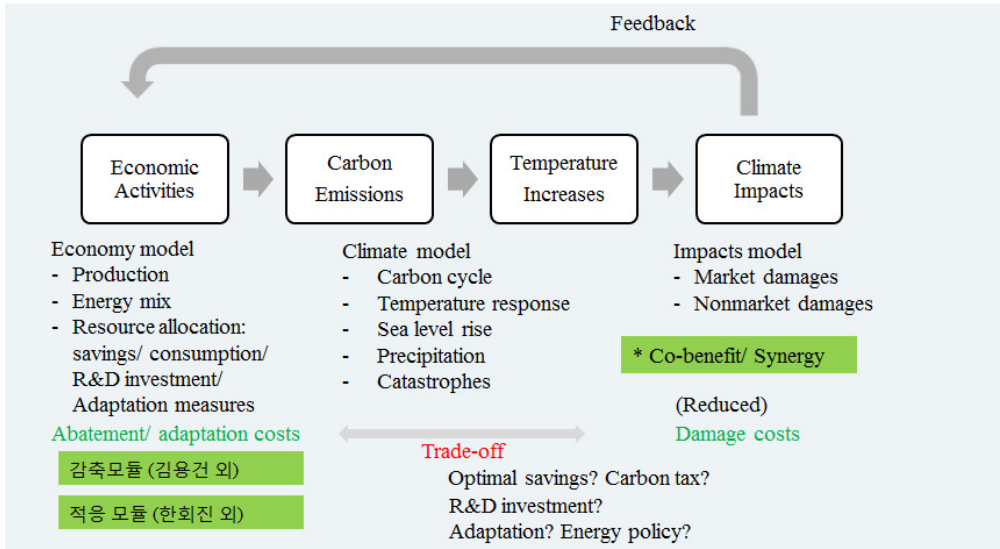
반면 적응모형의 특징은 다음과 같다.

- 시뮬레이션 모형(의사결정이 없고 주어진 외부충격에 대한 반응)
- 사회경제 시나리오, 기후시나리오 외생변수(exogenous variable)
- 세밀한 해상도(1km × 1km)

이렇듯 두 모형의 특징은 상이하기 때문에 엄밀한 의미에서 두 모형을 통합(integrate)한다는 것은 어려운 일이다. 설명 해를 찾는 알고리즘을 개발한다 하더라도 두 가지 모형 모두 방대한 양의 데이터를 요구하며 수많은 방정식으로 구성되어 있어 모형이 합리적인 시간 안에 결과 값을 산출하기는 어려울 것이다. 따라서 가장 현실적인 대안은 두 모형에서 사회경제 시나리오와 기후 시나리오를 공유하도록 하기 위해 감축모형의 산출 값이 적응모형으로 전달 되도록 연결(link)하는 형태일 것이다.

나. 기후경제통합평가모형과의 연계 가능성

〈그림 5-10〉과 같이 기후변화대응 환경기술개발사업의 모형들과 기후경제통합평가모형을 연계할 경우 많은 장점이 있지만, 현실적인 어려움이 있다. 장점으로는 기후 시나리오를 자체적으로 생산할 수 있으며, 기후-경제의 상호작용을 분석할 수 있고, 이를 통해 경제학에서 말하는 최적(optimal)의 탄소세 또는 온실가스 감축량을 산정할 수 있다는 점이다. 또한 기후 변화 적응과 온실가스 감축, 연구투자 등에 대한 예산배분 적정 값도 산출할 수 있다. 그러나 현실적으로 감축모듈과 적응모듈을 기후변화대응 환경기술개발사업 수준으로 분석하고 이를 통합하는 것에는 많은 어려움이 존재한다. 물론 미국 MIT에서는 이미 이러한 형태로 IGSM2 모형을 개발하여 사용하고 있지만, 이 모형도 모든 모듈이 서로 상호작용을 하고 이를 바탕으로 의사결정이 이뤄지는 완벽한 형태의 통합은 아니다. 개별 모형이 산출한 결과들을 서로 주고받는 형태로 연결되어 있다. 국내에서 이러한 모형을 구축하기 위해서는 우선 기후변화대응 환경기술개발사업의 감축 모형과 적응모형이 안정적으로 구축되어야 한다. 그 이후에 기후경제모형을 연결시키는 작업을 통해 IGSM2 모형과 같은 모형을 완성할 수 있을 것이다. 참고로 기후변화대응 환경기술개발사업의 모형들은 모두 2020년 완성을 목표로 개발 중에 있다. 따라서 현실적으로 위와 같은 통합 작업은 2020년 이후에나 진행할 수 있기 때문에, 우선은 AD-RICE 모형(De Bruin, 2014)이나 WITCH 모형(Bosello, 2016)이 사용하는 방식으로 감축과 적응 모듈을 모두 포함하는 IAM 모형을 개발하는 것도 단기적인 대안이 될 수 있다.



자료: 황인창(2015), p.64을 토대로 저자 재구성.

〈그림 5-10〉 기후-감축-적응 통합 모형

5. 국내 모형 개발 전략

앞서 살펴본 국내외 감축-적응 연계모형에 대한 검토를 바탕으로 국내에서 감축-적응 연계 모형을 개발하기 위한 전략을 제시하면 다음과 같다. 현실적으로 단기적으로는 미국의 CLIR과 같은 모형을 개발하는 것이 적합하다. 국내에서는 제4장에서 살펴보았듯이 온실가스 감축 로드맵과 국가 기후변화종합대책이 존재한다. CLIR 모형에서 요구하는 것과 같은 감축경로와 적응경로는 이러한 두 국가 대책에서 도출할 수 있다. 또한 국내에서는 기상청의 기후전망 시나리오와 채여라 외(2016)의 사회경제 시나리오가 존재한다. 이러한 기존 시나리오는 CLIR 모형에서 요구하는 입력 자료로 활용 가능하다. 또한 국내에서는 이창훈 외(2016) 등의 연구에서 환경가치에 대한 평가 작업을 진행하고 있다. 이러한 연구결과는 CLIR 모형에서 요구하는 피해비용함수를 추정하는 데 활용할 수 있다. 이창훈 외(2016)의 연구는 2018년까지 3개년에 걸쳐 진행되는 연구이지만, 최종 결과물에서도 충분히 다루지 못한 연구과제가 남아 있을 수

있다. 이러한 부분은 미국에서와 마찬가지로 전문가 판단 조사방법(expert elicitation)을 통해 자료를 구축할 수 있다. 마지막으로 이러한 입력 자료를 바탕으로 최적의 감축-적응 경로를 도출할 수 있는 알고리즘을 개발해야 하는데, 여기에는 기존의 많은 알고리즘 연구들을 활용할 수 있다(Hwang, 2017).

기후변화대응 환경기술개발사업의 모형의 개발이 완료되는 2020년 이후에는 두 모형을 연결하는 작업을 진행할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 모형의 결과들을 서로 주고받는 알고리즘 개발이 필요하다.

마지막으로 장기적으로는 기후변화대응 환경기술개발사업에서 개발하는 감축 모형과 적응 모형에 기후경제통합-지역평가 모형을 연결하는 작업이 필요할 수 있다. 이를 위한 기초 작업은 황인창(2015)이 제시한 방식과 유사할 것이며, 기후경제통합-지역평가 모형에서 감축모듈과 적응모듈로 기후변화대응 환경기술개발사업에서 개발한 모형을 적용하면 될 것이다. 이를 위해서는 개별 모형의 결과 값들을 연결하는 알고리즘을 개발하는 작업이 필요하며, 또한 연산 과정을 줄여 합리적인 시간 안에 최종 결과물을 얻을 수 있는 기법도 개발해야 할 것이다.

제6장 | 결론

기후변화 대응정책의 두 가지 큰 방향은 온실가스 감축과 기후변화 적응이다. IPCC 보고서도 이러한 틀 안에서 작성되고 있다. 연구개발 투자를 기후변화 대응정책의 세 번째 방향이라고 볼 수도 있겠지만, 연구개발 투자는 온실가스 감축과 기후변화 적응 안에 포함되는 것으로도 볼 수 있다.

이 연구는 기후변화 대응정책의 두 가지 큰 축을 연계하는 전략 수립을 목적으로 수행되었다. 감축정책과 적응정책은 별개로 시행할 경우 상쇄효과가 발생할 수 있는 반면 연계해서 시행할 경우 공편익이 발생할 수 있기 때문에 이론적인 연구뿐 아니라 국제기구 등에서도 최근 감축-적응 연계에 대해 큰 관심을 갖고 있다.

아직까지 국내에서는 감축-적응 연계의 중요성을 선언적 수준에서 언급하는 정도이며 종합적이고 구체적인 전략을 세운 사례는 없다. 국제적으로도 국가 단위 또는 지역 단위에서 감축과 적응을 종합적으로 연계하는 전략을 수립한 곳은 드문 형편이다. 캐나다 등에서 감축-적응 연계의 중요성을 강조하고는 있지만 대부분 에너지, 농업, 산림 등 특정 부문에 대한 분석이 주를 이루고 있다.

이러한 배경 하에서 이번 연구에서는 온실가스 감축-기후변화 연계전략을 수립하였다. 이를 위해 온실가스 감축과 기후변화 적응의 특징을 분석하고 연계 가능성을 검토하였으며, 연계에 따른 효과 및 타당성을 제시하였다. 온실가스 감축-기후변화 연계의 목적은 기후변화로 인한 부정적인 영향을 최소화하고 기회요인을 최대화하는 것에 있으며, 온실가스 감축-기후변화 연계전략은 사회적 기반, 제도적 측면, 사업적 측면 등으로 구분하여 제시하였다.

사회적 기반에서는 기후 관련 지식과 기술유형을 분류하고 유형별 특징을 검토하고, 온실가스 감축과 기후변화 적응을 효과적으로 달성할 수 있는 기술별 활용방안을 제시하였다. 또한 이해당사자의 참여방안을 제시하였다. 제도적 측면에서는 기후변화 관련 법정 계획에서 감축-

적응 연계를 반영할 것과 사업의 영향평가 및 타당성 평가 시 감축-적응의 상쇄효과 및 공편익을 반영할 것을 제시하였다. 또한 재정적 측면에서의 감축-적응 연계로서 적응을 포함한 기후변화 기금의 설립 및 활용방안, 기금의 운영과 사업의 집행을 담당할 기구의 설립 등을 제시하였다. 사업적 측면에서는 감축이 중심이 되는 분야, 적응이 중심이 되는 분야, 감축-적응의 연계가 용이한 분야를 구분하고 분야별로 취해야 할 전략들을 제시하였다. 구체적으로 감축이 중심이 되는 분야로는 에너지, 수송, 산업, 폐기물 등의 분야가 있으며, 변화하는 기후환경에서 감축사업의 지속가능성을 확보하기 위한 (부지) 취약성 평가 및 기후변화 적응방안 수립 등을 이러한 분야의 전략으로 제시하였다. 적응이 중심이 되는 분야로는 수자원, 보건, 연안 및 저지대 분야 등이 있으며, 이러한 분야에서는 적응사업의 재정 리스크를 최소화할 수 있도록 감축효과를 고려한 사업 수행을 제안하였다. 마지막으로 감축과 적응이 공통적으로 중요한 분야로는 농업과 산림분야 등이 있으며, 이러한 분야에서는 사업 시작 단계에서부터 감축-적응 공편익을 고려하여 설계할 것을 제안하였다.

이 연구에서는 구체적인 분야별 전략도 제시하였는데, 분량의 한계로 다음의 세 가지 분야에 대한 전략을 제시하였다. 첫 번째로 제도적 측면과 관련하여 국가 기후변화 대응계획상에 제시된 감축정책과 적응정책을 비교하여 개별 정책의 연계 가능성을 분석하였다. 또한 현행 국가 기후변화 대응체계 검토를 통해 감축-적응 연계를 위한 방안도 제시하였다. 두 번째로는 사업적 측면과 관련하여 감축과 적응이 효과적으로 연계될 수 있는 분야로서 산림탄소상쇄제도의 활성화 방안을 제시하였다. 새로 개정된 국내 배출권거래제도에서도 산림탄소상쇄제도와 연계 고려하고 있는 만큼, 산림탄소상쇄제도의 활성화는 국내의 감축-적응 연계 및 기후변화 대응정책에 있어 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 마지막으로 사회적 기반과 관련하여 전통지식의 특징을 기후변화 불확실성 및 감축-적응 연계 측면과 관련하여 분석하였으며, 국내에서 전통지식을 활용할 수 있는 방안을 제시하였다.

위와 같은 감축-적응 연계전략을 실제로 실행하는 단계에서는 감축-적응 연계의 효과를 정량화할 수 있는 분석도구가 필요하다. 이를 고려해 이 연구에서는 국내 감축-적응 연계모형 개발전략도 제시하였다. 한정된 예산 안에서 최적의 정책을 수립하고 평가하는 데 경제모형의 역할과 중요성이 큰 만큼 이 연구에서 제안한 개발 전략에 따라 실제로 감축-적응 연계 모형을 구축하는 연구도 추후 수행할 필요가 있다.

❖ 참고문헌 ❖

[국문자료]

- 관계부처 합동(2010), 「국가기후변화 적응대책(2011~2015)」.
- 국무조정실 보도자료(2016.2.25.), “파리협정의 효과적 이행을 위한 기후변화 대응체계 강화”.
- 김대수, 손원익, 황인창(2016), “공편익을 고려한 산림탄소상쇄사업 활성화 방안”, 「환경정책」, 24(4), pp.1-23.
- 김영환 외(2014), “산림경영형 산림탄소상쇄 사업설계를 위한 주요 수정별 베이스라인 흡수량 산정”, 「한국임학회지」, 103(3), pp.439-445.
- 김영환(2016), “산림탄소상쇄제도 활성화를 위한 산림탄소흡수량 정부구매제도 도입”, 「산림정책이슈」, 60, pp.1-12.
- 김영환, 송민경, 배재수(2015), “온실가스 배출권거래제 연계를 통한 산림탄소상쇄제도 활성화 방안”, 「산림정책이슈」, 국립산림과학원.
- 김오석 외(2016), 「기후변화 적응정책 지원을 위한 토지이용통합모델 개발(2)」, 한국환경정책·평가연구원.
- 김용건 외(2015), 「한국형 상하향식 온실가스 통합 감축 시스템 개발(2차년도)」, 한국환경정책·평가연구원.
- 녹색기술센터(2014), 「전통녹색기술을 통한 미래 녹색마을 및 유망 녹색기술 Trend 측」, 녹색기술센터.
- 박미선 외(2014), “산림탄소상쇄사업 활성화를 위한 인센티브 개발”, 「환경정책」, 22(2), 한국환경정책학회, pp.1-26.
- 배재수, 김영환, 한기주(2013), “제14장 산림탄소시장의 동향과 산림경영의 새로운 기회”, 한국농촌경제연구원.
- 산림청(2013), “탄소흡수원 지수 측정 방법론”.
- 산림청(2014), “지속가능한 산림경영 국가보고서 2014 발간 설명자료”.
- 산림청(2014), “지속가능한 산림경영 국가보고서 2014”.

- 산림청(2014), 「탄소흡수원 지수 측정 방법론(산림경영활동 지수 추가)」
- 산림청(2014), 「국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵」.
- 산림청(2015), “한국형 산림인증제 도입 가속화 보도자료”.
- 산림청(2015), 「제2차 국가기후변화 적응대책(2016~2020)」.
- 산림청(2016), “산림탄소상쇄제도 활성화 기반 연내 마련 보도자료”.
- 산림청(2016), 「제2차 국가기후변화 적응대책(2016~2020) 세부시행계획」.
- 서울시(2015), 「서울시 2030 지역에너지계획 수립 연구」, 서울시.
- 설미현(2016), 「한국산림인증제도의 발전과 PEFC 국제상호인정 추진 동향」, 서울: 국립산림과학원.
- 송영일(2016.10), “연구단 소개”, 기후정책포럼 발표자료, 서울.
- 온실가스종합정보센터(2015), 「2015 국가 온실가스 인벤토리 보고서」.
- 이도원 외(2004), 「한국의 전통생태학」, 서울: 사이언스북스.
- 이동호, 김동환, 김성일(2015), “국내외 자발적 탄소시장의 산림탄소사업 투자 및 수익 배분 특성 연구”, 「환경정책」, 23(4), 한국환경정책학회, pp.1-27.
- 이창훈 외(2016), 「환경경제 통합분석을 위한 환경가치 종합연구」, 한국환경정책·평가연구원.
- 전성우 외(2013), “생태계 서비스 가치평가를 위한 산림 유형 분류 방안: 임상도와 토지피복지도 활용을 중심으로”, 「한국환경복원녹화기술학회지」, 16(3), pp.31-39.
- 채여라 외(2016), 「저탄소 기후변화 적응 사회를 위한 사회경제변화 시나리오 개발(3차년도)」, 한국환경정책·평가연구원.
- 한림대학교-EY 한영(2016), 「2015년도 기후변화 적응산업 활성화 방안 마련」, 한국환경정책·평가연구원.
- 한혜진(2011), 「기후변화 시나리오를 고려한 토지이용예측 모델 개발」, 한국환경정책·평가연구원.
- 한화진 외(2016), 「부문별 기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 기반구축 및 활용기술 개발(2차년도)」, 한국환경정책·평가연구원.
- 환경부 보도자료(2015.12.22.), “기후변화 대비, 범정부 국가적응대책 마련”.
- 황인창(2015), 「기후경제통합-지역평가모형 비교분석 및 국내 모형개발을 위한 기초연구」, 한국환경정책·평가연구원.

[영문자료]

- ACIA(2005), *Arctic Climate Impact Assessment*.
- Adaptation Fund(2016), "Schedule of Receipts and Cash Transfers", The World Bank Group.
- Agrawala, S.(1998a), "Context and Early Origins of the Intergovernmental Panel on Climate Change", *Climatic Change*, 39, pp.605-620.
- Agrawala, S.(1998b), "Structural and Process History of The Intergovernmental Panel on Climate Change", *Climatic Change*, 39, pp.621-642.
- Anthoff, D. and R. S. J. Tol(2014), "Climate Policy under Fat-tailed Risk: An Application of FUND", *Annals of Operations Research*, pp.223-237
- California Air Resources Board(2016), "Notice of Public Hearing to Consider Amendments to the California Cap on Greenhouse Gas Emissions and Market-based Compliance Mechanisms Regulation", *California Environmental Protection Agency*.
- Arrow, K. J. and Fisher, A. C.(1974), "Environmental Preservation, Uncertainty, and Irreversibility", *Classic Papers in Natural Resource Economics*.
- Ayer, J. M. and S. Huq(2009), "The Value of Linking Mitigation and Adaptation: A Case Study of Bangladesh", *Environmental Management*, DOI: 10.1007/s00267-008-9233-2
- Bellman, R. E. and Dreyfus, S. E.(1962), *Applied Dynamic Programming*, Princeton University Press, Princeton.
- Berkes, F.(2012), "Implementing Ecosystem-based Management: Evolution or Revolution?", *Fish and Fisheries*, 13(4), pp:465-476.
- Bosello, F.(2016), "Building Undertainty into the Adaptation Cost Estimation in Integrated Assesment Models", *Proceedings of EAERE 2016 Conference*.
- Boyd, R. and Hund, A.(2004), "Costing the Impacts of Climate Change in the UK", Overview Guidelines.

- Carbon Trust(2009), *Global Carbon Mechanisms: Emerging Lessons and Implications*.
- CARE(2011), *Understanding Vulnerability to Climate Change*.
- CBD(2009), “Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change”, Convention on Biological Diversity.
- CCBA(2013), *Climate, Community & Biodiversity Standards Third Edition*.
- Chambers, A.(2013), “USDA-NRCS GHG Emissions and Carbon Sequestration Efforts”, G-AGG Meeting, Detroit, July 9, 2013.
- Daze, A.(2014), *Using Analysis of Climate Change Vulnerability and Adaptive Capacity for Program Decision-making*.
- Daze, A., et al.(2009), *Climate Vulnerability and Capacity Analysis Handbook*, CARE International.
- De Bruin, K. et al.(2009), “Adapting to Climate Change in The Netherlands: An Inventory of Climate Adaptation Options and Ranking of Alternatives”, *Climatic Change*, 96, pp.23-45.
- De Bruin, K.(2014), “Calibration of the AD-RICE 2012 Model”, *CERE working paper*.
- Duguma, L. et al.(2014), “Climate Change Mitigation and Adaptation in the Land Use Sector: From Complementarity to Synergy”, *Environmental Management*, 54, p.420-432.
- Ecosystem Marketplace(2012), *Developing Dimension: State of the Forest Carbon Markets 2012*.
- Ecosystem Marketplace(2013), *Maneuvering the Mosaic: State of the Forest Carbon Markets 2013*.
- Ecosystem Marketplace(2014), *Sharing the Stage: State of the Voluntary Carbon Markets 2014*.
- Ecosystem Marketplace(2015a), *Ahead of the Curve: State of the Forest Carbon Markets 2015*.

- Ecosystem Marketplace(2015b), *Overging at the Crossroads: State of Forest Carbon Finance 2015*.
- Ecosystem Marketplace(2016a), *Not So Niche: Co-benefits at the Intersection of Forest Carbon and Sustainable Development*.
- Ecosystem Marketplace(2016b), *Raising Ambition: State of the Voluntary Carbon Markets 2016*.
- Elena, O. et al.(2016), "Ecosystem Services and REDD: Estimating the Benefits of Non-Carbon Services in Worldwide Forests", *World Development*, 78, pp. 246-261.
- Falanruw et al.(1989), *Vegetation Survey of Rota, Tinian, and Saipan, Commonwealth of the Northern Mariana Islands*, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, United States Department of Agriculture Forest Service.
- Ford, J. D. et al.(2010), "A Systematic Review of Observed Climate Change Adaptation in Developed Nations", *Climatic Change*, 106, pp. 327-336.
- Ford, J.D. et al.(2016), "Including Indigenous Knowledge and Experience in IPCC Assessment Reports", *Nature Climate Change*, 6, pp.349-353.
- Freeman, M. and Carbyn, L.(1988), *Traditional Knowledge and Renewable Resource Management in Northern Regions*, International Union for the Conservation of Nature, Canada.
- GCF(2014), "Decisions of the Board: Seventh meeting of the Board", Green Climate Fund, 18-21 May 2014.
- GIZ et al.(2011), "REDD-plus Benefits", Secretariat for the Convention on Biological Diversity and Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit GmbH.
- GIZ(2012), "Ecosystem-based Adaptation(EbA)", Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit, p.2.
- Green, D. and L. Minchin(2012), "The Co-benefits of Carbon Management on Country", *Nature Climate Change*, 2, pp.641-643.

- Haggan, N. et al.(2007), *Fishers' Knowledge in Fisheries Science and Management*, UNESCO Publishing, France.
- Harnisch, J.(2015), "Trends in Climate Change Adaptation Finance: The KfW Perspective", KfW Development Bank, March 2, 2015.
- Helm, D.(2005), "The Assessment: The New Energy Paradigm", *Oxford Review of Economic Policy*, 21(1), pp.1-18.
- Helm, D.(2012), "Climate Policy: The Kyoto Approach has Failed", *Nature*, 491, pp.663-665.
- Hickey, F. R.(2006), "Traditional Marine Resource Management in Vanutu: Acknowledging, Supporting and Strengthening Iindigenous Management Systems", *SPC Traditional Marine Resource Management and Knowledge Information Bullutin*, 20, pp.11-23.
- Horowitz, J. and A. Lange(2014), "Cost-benefit Analysis under Uncertainty: A Note on Weitzman's Dismal Theorem", *Energy Economics*, 42, pp.201-203.
- Hwang, I. C., F. Reynès, and R. S. J. Tol(2013), "Climate Policy under Fat-tailed Risk: An Application of DICE", *Environmental and Resource Economics*, 56(3), pp.415-436.
- Hwang, I. C., R. S. J. Tol, M. Hofkes(2016a), "Fat-tailed Risk about Climate Change and Climate Policy", *Energy Policy*, 89, pp.25-35.
- Hwang, I. C., Tol, R. S. J., Hofkes, M.(2016b), "Active Learning and Optimal Climate Policy", Proceedings of EAERE 2016.
- Hwang, I. C., Tol, R. S. J., Hofkes, M.(2017), "The Effect of Learning on Climate Policy under Fat-tailed Risk", *Resource and Energy Economics*, 48, pp.1-18.
- Hwang, I. C.(2017), "A Recursive Method for Solving a Climate-economy Model: Value Function Iterations with Logarithmic Approximations", *Computational Economics* (forthcoming).

- IPCC(2007a), "Supplementary Material: Inter-relationships between Adaptation and Mitigation", Chapter 18, WG2 report to FAR of IPCC, International Panel on Climate Change.
- IPCC(2007b), *Climate Change 2007: Impacts and Adaptation*.
- IPCC(2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*
- IPCC(2014), *Climate Change 2014: Synthesis Report*
- Johannes, R. E.(1978), "Traditional Marine Conservation Methods in Oceania and Their Demise", *Annual Review of Ecology and Systematics*, 9, pp.349-364.
- Johannes, R. E.(2002), "The Renaissance of Community-Based Marine Resource Management in Oceania", *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33, pp.317-340.
- Kapshe, M. et al.(2013), "Analysing the Co-benefits: Case of Municipal Sewage Management at Surat, India", *Clean Production*, 58, pp.51-60.
- Kolstad, C. D.(2011), *Intermediate Environmental Economics*, Oxford University Press, p.31.
- Lalisa, A. D., A. M. Peter, and V. N. Meine(2014), "Climate Change Mitigation and Adaptation in the Land Use Sector: From Complementarity to Synergy". *Environmental Management*, 54, pp.420-432.
- Locatelli, B.(2011), "Synergies Between Adaptation and Mitigation in a Nutshell", CIFOR.
- Maldonado, J. et al.(2016), "Engagement with Indigenous Peoples and Honoring Traditional Knowledge Systems", *Climatic Change*, 135, pp.111-126.
- Matocha, J. et al.(2012), *Integrating Climate Change Adaptation and Mitigation through Agroforestry and Ecosystem Conservation*, In Nair, P.K.R. and Garrity, D. eds. *Advances in Agroforestry*, New York: Springer. p.112.
- Mayrhofer, J. P. and J. Gupta(2016), "The Science and Politics of Co-benefits in Climate Policy", *Environmental Science & Policy*, 57, pp.22-30.

- Mbow, C. et al.(2014), "Achieving Mitigation and Adaptation to Climate Change through Sustainable Agroforestry Practices in Africa", *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6, pp.8-14.
- McKinsey and Company(2009), *Pathways to a Low-carbon Economy*.
- Millner, A.(2013), "On Welfare Frameworks and Catastrophic Climate Risks", *Journal of Environmental Economics and Management*, 65, pp.310-325.
- Morand, A. et al.(2015), *Linking Mitigation and Adaptation Goals in the Energy Sector: A Case Study Synthesis Report*, Natural Resources Canada.
- Nordhaus, W. D.(1994), *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Nordhaus, W. D.(2008), *A Question of Balance*, Yale University Press.
- Nordhaus, W. D.(2011), "The Economics of Tail Events with an Application to Climate Change", *Review of Environmental Economics and Policy*, 5(2), pp.240-257.
- Nordhaus, W. D.(2013), "DICE 2013R: Introduction and User's Manual", <http://dicemodel.net>
- NRC(2015), *Linking Mitigation and Adaptation Goals in the Energy Sector*, Natural Resources Canada.
- OECD/IEA(2015), *Energy and Climate Change: World Energy Outlook Special Briefing for COP21*.
- OECD(2015), *The Economic Consequences of Climate Change*.
- Palstev, S. et al.(2005), "The MIT Emission Prediction and Policy Analysis(EPPA) Model: Version 4", MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change.
- Pindyck, R. S.(2011), "Fat Tails, Thin Tails, and Climate Change Policy", *Review of Environmental Economics and Policy*, 5, pp.258-274.
- Richard et al.(2013), "Carbon Markets 15 Years after Kyoto: Lessons Learned, New Challenges", *Journal of Economic Perspectives*, 27 2013, pp.123-146.

- Rosenthal, R. E.(2015), *GAMS: A User's Guide*, GAMS Development Corporation.
- Sadler, B. and Boothroyd, P.(1994), *Traditional Ecological Knowledge and Environmental Impact Assessment*, University of British Columbia, Canada.
- Schoeneberger, M. et al.(2012), “Branching out: Agroforestry as a Climate Change Mitigation and Adaptation Tool for Agriculture”, *Journal of Soil and Water Conservation*, 67(5), pp.128-136.
- Scoones, I. et al.(1994), “Beyond Farmer First: Rural People’s Knowledge Agricultural Research and Extension Practice”, *Intermediate Technology Publications*, p. 301.
- Shaw, R. et al.(2008), *Indigenous Knowledge for Disaster Risk Reduction: Good Practices and Lessons Learnt from the Asia-Pacific Region*, UNISDR, Bangkok.
- Sillitoe, P. et al.(2002), “Participating in development: Approaches to Indigenous Knowledge”, *ASA monographs*, 39, London.
- Sinha, A. H.(2012), “Emission Reduction through Composting of Organic Waste in Dhaka”, International Symposium, Cities in a Changing Climate, Frankfurt, Nov 13, 2012. p.9.
- Sokolov, A. P. et al.(2005), *The MIT integrated global System Model(IGSM) version 2: Model Description and Baseline Evaluation*, MIT Press.
- Sukuki, R.(2012), *Linking Adaptation and Mitigation through Community Forestry*, RECOFTC.
- State of California Air Resources Board(2015), Staff White Paper: Scoping Next Steps for Evaluating the Potential Role of Sector-Based Offset Credits under the California Cap-and-Trade Program, Including from Jurisdictional Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation Program.
- Stern, N.(2013), “The Structure of Economic Modeling of the Potential Impacts of Climate Change: Grafting Gross Underestimation of Risk onto Already narrow Science Models”, *Journal of Economic Literature*, 51(3), pp.838-859.

- The City of New York(2014), *One City Built to Last: Mayor's Office of Long-Term Planning and Sustainability*.
- The Gold Standard Foundation(2013), *The Gold Standard land Use & Forests Framework*.
- The Plan Vivo Foundation(2013), *The Plan Vivo Standard: for Community Payments for Ecosystem Services Programmes*.
- Tol, R. S. J.(2011), "Regulating Knowledge Monopolies: The Case of the IPCC", *Climatic Change*, 108, pp.827-839.
- Tol, R. S. J.(2013), "Targets for Global Climate Policy: An Overview", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 37, pp.911-928.
- Udawatta, R. P. et al.(2011), "Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Practices in Temperate North America", In Kumar, B.M. and Nair, P.K.R. eds. *Advances in Agroforestry*, New York: Springer.
- UNEP(2011), "Technologies for Adaptation: Perspectives and Practical Experiences", United Nations Environmental Programme.
- UNE(2012), "Ecosystem-based Adaptation Guidance", United Nations Environmental Programme, pp.9-10.
- UNESCO(2012), *Weathering Uncertainty: Traditional Knowledge for Climate Change Assessment and Adaptation*.
- UNFCCC(2006), *Technologies for Adaptation to Climate Change*.
- UNFCCC(2009), FCCC/SB/2009/2.
- UNFCCC(2013), FCCC/TP/2013/11.
- UNU(2013), *Eco-system based Adaptation Strategies for Enhancing Resilience of Rice Terrace Farming Systems Against Climate Change*.
- Usher, P. J.(2000), "Traditional Ecological Knowledge in Environmental Assessment and Management", *Arctic Institute of North America*, 53(2), pp.183-193.

- Verchot, L. V. et al.(2007), “Climate Change: Linking Adaptation and Mitigation through Agroforestry”, *Mitigation and Adaptation Strategy for Global Change*, 12, pp.901-918.
- Weitzman, M.(2009), “On Modeling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change”, *Review of Economics and Statistics*, 91(1), pp.1-19.
- Weyant, J. et al.(2013), “Introduction to the EMF28 Study on Scenarios for Transforming the European Energy System”, *Climate Change Economics*, 4(1):1302001.
- Wilbanks, T. J. et al.(2007), “Toward an Integrated Analysis of Mitigation and Adaptation: Some Preliminary Findings”, *Mitigation and Adaptation Strategy for Global Change*, 12, pp.713-725.

[온라인 자료]

Verified Carbon Standard, <http://www.v-c-s.org>, 검색일: 2016. 6. 20

Abstract

The Integration of Climate Change Mitigation and Adaptation: Strategy and Methods

In Chang Hwang, Dae Soo Kim

Adverse impacts of climate change have been addressed with two approaches: mitigation and adaptation. The two approaches are to some extent interrelated each other, but there rarely is an effort to integrate them in Korea. We propose a strategy and methods for the integration of climate change mitigation and adaptation. Based on the characteristics of mitigation and adaptation, the possibility of the linkage between mitigation and adaptation is analysed and the expected co-benefits from the integration are examined. The main strategy for the integration of mitigation and adaptation is comprised of three dimensions: software (knowledge, technology, participation), hardware (sector-level projects), and orgware (laws, plans, organization). The key concept and the general principle of linkage for each dimension are addressed. In addition, we present a more detailed methods for the linkage between mitigation and adaptation for some specific issues including traditional knowledge, forest carbon-offsets programmes, and national-level institutions. In order to monitor and evaluate the effects of the linkage, quantitative methods or tools for evaluation are required. We compare the existing climate-economy models and propose a way forward for a new mitigation-adaptation linkage model.

Keywords : Climate Change, Mitigation, Adaptation, Co-benefit, Linkage Model

❖ 저자약력

황인창

네덜란드 VU University Amsterdam 경제학 박사

한국환경정책·평가연구원 부연구위원(현)

E-mail : ichwang@kei.re.kr

주요 논문 및 보고서

- The Effect of Learning on Climate Policy under Fat-Tailed Risk (2017)
- Fat-Tailed Risk about Climate Change and Climate Policy (2016)
- Climate Policy under Fat-Tailed Risk: An Application of DICE (2013)

김대수

한국환경정책·평가연구원 연구원(현)

E-mail : kimds@kei.re.kr

주요 논문 및 보고서

- 공편익을 고려한 산림탄소상쇄사업 활성화 방안 (2016)
- 패널자료 시계열 분석기법을 활용한 기업의 환경성과와 재무성과 간 인과관계 분석: 온실가스배출량을 중심으로 (2014)

KEI 연구보고서 목록 (2012~2016)

기후환경정책연구

발행연도 | 보고서 번호 | 보고서 제목 (연구책임)

- 2016년 2016-01 미래환경 전망 및 지속가능사회 비전설정 기반 구축 (조공장)
- 2016-02 환경과 문화예술 콘텐츠 융합을 통한 기후환경 리스크 커뮤니케이션 전략 수립 (신용승)
- 2016-03 온실가스 감축-기후변화 적응 연계전략 수립 (황인창)
- 2016-04 기후변화 및 사회·경제적 요인의 동태적 변화를 고려한 미래 물수급 관리정책 마련(I) (류재나)
- 2016-05 물이용 지속성의 평가와 미래 전망 (김익재)
- 2016-06 최빈국 지역정부의 기후변화적응 계획 수립을 위한 기술적 가이드라인 개발 연구 (장훈, 송영일)
- 2016-07 신기후체제 협상 대응 및 기후서비스 산업 발전 방안 연구 (강상인)

- 2015년 2015-01 에너지세제의 환경친화적 개편 및 지속가능한 환경재정체계 구축방안 연구 (강만옥)
- 2015-03 생태계서비스 측정체계 기반구축(II): 하천생태계를 중심으로(안소은)
- 2015-03 폐자원 및 바이오에너지의 용도별 적정 배분방안(II): 목질계 바이오매스를 중심으로 (조지혜, 이희선)
- 2015-04 국제기후변화 협상 동향과 대응전략(II) (이승준, 이상윤)
- 2015-05 친환경차 보조금 지원 정책의 온실가스 감축 효과 연구 (한진석)
- 2015-06 배출권거래제도의 벤치마크 사례 국제 비교 연구 (공성용)
- 2015-07 기후변화에 대응하기 위한 생태계 환경안보 강화 방안 (III): 기후변화 적응을 위한 생태계 관리방안 개선 (이승준, 권영한)
- 2015-08 넥서스 기반 통합적 기후환경 대응체계 구축 연구: 도시지역 기후적응정책 문제를 중심으로 (김동현, 송영일)
- 2015-09 지속가능한 물이용을 위한 지표 개발 및 적용 방안 연구(II) (안중호, 김익재)

- 2014년 2014-01 증장기 환경전망 및 대응전략-KEI 통합환경모형(Integrated Assessment Model) 연구 (강성원)
- 2014-02 생태계서비스 측정체계 기반구축(I): 하천생태계를 중심으로 (안소은)
- 2014-03 화석연료 대체에너지원의 환경경제성평가(II) - 재생에너지 발전원을 중심으로 (이창훈)
- 2014-04 폐자원 및 바이오에너지의 용도별 적정 배분방안(I) - 바이오가스를 중심으로 (조지혜)
- 2014-05 온실가스 감축정책 현황 및 개선방안연구(II) (이상엽)
- 2014-06 국제기후변화 협상동향과 대응전략(I) (이상윤, 이승준)
- 2014-07 기후변화에 대응하는 생태계 환경안보 강화 방안(II) : 기후변화 취약생태계 분석 및 전망을 중심으로 (권영한)
- 2014-08 [협동] 지속가능한 물이용을 위한 지표 개발 및 적용 방안 연구(I) (김연주)

- 2013년 2013-01 중장기 환경전망 연구 (강성원)
 2013-02 환경가치 DB 구축 및 원단위 추정(IV) (곽소윤)
 2013-03 유기성 폐자원의 효율적 에너지화를 위한 관리체계 구축 방안 연구 (한상운, 조지혜)
 2013-04 기후환경 취약계층의 환경복지 정책연구(I) (박정규)
 2013-05 온실가스감축정책현황 및 개선방안 연구(I): 감축목표달성을 위한 비용효과적 정책혼합 (강희찬)
 2013-06 화석연료 대체에너지원의 환경경제성 평가(I) (이창훈)
 2013-07 기후변화에 대응하기 위한 생태계 환경안보 강화 방안(I) (이수재)
 2013-08 국토환경관리정책 변화와 개발제한구역의 지속가능한 관리 방안 (전성우)
 2013-09 국가 물안보 체계 구축을 위한 중장기 정책방안 연구 (강형식)

연구보고서/기본연구

- 2016년 2016-01 지역기반 환경보전정책 지원 방안 연구(II) (신용승, 배현주)
 2016-02 도시의 기후 회복력 확보를 위한 공간단위별 평가체계 및 모형 개발(II) (김동현)
 2016-03 중국의 '일대일로(一帶一路)' 대응 유라시아 지역 환경전략 연구 (추장민)
 2016-04 사물인터넷(IoT)을 활용한 스마트 물환경관리 방안 및 정책기반 마련 연구 (한혜진)
 2016-05 생태계서비스 기반의 자연자본 지속가능성 지수 개발 연구(I) (이현우)
 2016-06 지중환경관리를 위한 제도 개선방안 연구(II) (황상일)
 2016-07 사회적 투자수익률(SROI)을 고려한 물환경 인프라 시설 투자 방향 연구 (류재나, 강형식)
 2016-08 폐자원흐름분석을 통한 전기·전자제품의 upcycling 활성화 방안 (이희선)
 2016-09 자원순환사회 전환 촉진을 위한 재활용산업 활성화 방안: 재활용 관리제도 전환에 따른 영향분석 (이소라, 신상철)
 2016-10 공간정보를 활용한 재해폐기물 성상별 최적 관리방안 (조지혜, 김태현)
 2016-11 국가 및 지역 미래성장동력에 대한 환경성 분석 및 환경영향평가 대비방안 연구 (방상원)
 2016-12 정부3.0 기반 지역기피시설 주민수용성 평가 방안(II) (김태현)
 2016-13 랜덤워크를 이용한 생태네트워크 변화 모의예측방안 연구(II) (김지영)
 2016-14 화학물질관리법 내 화학사고 정책의 개선방안 및 산업계 지원방안 연구(I) (박정규, 서양원)
 2016-15 교통환경정책 수립을 위한 대기환경개선효과 추정방안 연구(도로이동오염원을 중심으로) (한진석)
 2016-16 기후·대기 환경정책에 활용하기 위한 건강위해성 평가 개선 연구 - 농도반응함수의 국내 표준안을 중심으로 (하종식)
 2016-17 기후변화 적응을 고려한 지역 자원 관리 방안(II) (박창석)
 2016-18 기후변화 적응정책 지원을 위한 토지이용통합모델 개발(II) (김오석)
 2016-19 ICT 발전트렌드에 대응하는 공간정보의 환경이슈 적용 체계 구축 (이명진, 이정호)
 2016-20 북한 환경정보구축 및 활용 방안 연구(II): 원격탐사를 이용한 자연환경성 우수지역 평가 (정휘철)
- 2015년 2015-01 친환경적 행동의 불편비용과 정책적 시사점 (강만옥)
 2015-02 월경성 대기오염물질 관리를 위한 단계별 대응방안 연구 (이상운)

- 2015-03 환경생태유량, 친수용수 등 물수요 변화에 대응하는 물환경 정책 개발 연구 (김호정)
 - 2015-04 지역기반 환경보전정책 지원 방안 연구(I): 한국형 CARE 프로그램을 중심으로 (배현주)
 - 2015-05 육상 생태 보호지역 확대 추진 방안 연구 (이수재)
 - 2015-06 폐자동차의 자원순환 고도화 방안을 위한 폐자원 및 잔재물 흐름 분석 (이희선)
 - 2015-07 환경평가시 대안 설정 및 평가에 관한 연구 (이상범)
 - 2015-08 기후변화 적응을 고려한 지역 자원 관리 방안(I) (이정호, 박창석)
 - 2015-09 동북아 지역 FTA 환경영향대응 및 환경·경제 통합협력전략 연구 (추장민)
 - 2015-10 북한 환경정보 구축 및 활용 방안 연구(I): 토지피복지도 구축을 중심으로 (정휘철)
 - 2015-11 지중환경관리를 위한 제도 개선방안 연구(I) (황상일)
 - 2015-12 지하수 의존도에 따른 수생태계 관리를 위한 기저유출지표 개발 및 활용방안 연구(I) (강형식)
 - 2015-13 기후변화 적응정책 지원을 위한 토지이용통합모델 개발(I) (김오석)
 - 2015-14 도시의 기후 회복력 확보를 위한 공간단위별 평가체계 및 모형 개발(I) (김동현)
 - 2015-15 기후변화를 고려한 환경인프라 사고대응체계 개선방안 연구 (류재나)
 - 2015-16 화학사고 사후영향평가 체계구축방안 마련 (박정규, 서양원)
 - 2015-17 랜덤워크를 이용한 생태네트워크 변화 모의 예측방안 연구(I) (김지영)
 - 2015-18 풍력발전시설에 대한 소음환경영향평가 및 관리방안 연구 (박영민)
 - 2015-19 Bridging Livable City Development over Local Climate Smart Development under UN SDGs (장 훈)
 - 2015-20 정부 3.0 기반 지역기피시설 주민수용성 평가 방안(I) (김태현)
-
- 2014년 2014-01 빅데이터를 활용한 환경분야 정책수요 분석 (이미숙, 이창훈)
 - 2014-02 도시하천의 물환경서비스 제고를 위한 물인프라 자산관리 방안 연구 (강형식)
 - 2014-03 폐금속자원 재활용산업의 글로벌 경쟁력 강화를 위한 대·중소기업 상생 방안 (이희선)
 - 2014-04 위성성 평가의 정책 활용도 제고를 위한 화학물질 Action Plan 수립 연구(II) (서양원, 박정규)
 - 2014-05 전략환경평가제도의 실효적 운용 방안 연구(II) - 정책계획의 평가 실무가이드라인을 중심으로 (이영준)
 - 2014-06 기후변화 적응형 공간계획방법의 개발과 모의적용 연구(II) (김동현)
 - 2014-07 동북아 환경재난대응 지역협력 방안 연구 (추장민)
 - 2014-08 환경복지 지표 및 기준 개발에 관한 연구 (김종호, 추장민)
 - 2014-09 사업장배출허용기준 강화가 환경기술 개발 및 배출량 저감에 미친 영향 (공성용)
 - 2014-10 ICT를 통한 녹색 라이프스타일로의 전환 촉진 정책 연구 (장기복)
 - 2014-11 비점오염원 관리 실효성 제고를 위한 토지 소유·이용자의 합리적 책임부여 방안 연구 (김호정)
 - 2014-12 물환경 및 기후변화를 고려한 유해녹조 대응체계 및 정책 개선방안 연구 (한혜진)
 - 2014-13 지속가능한 상하수도 재정체계구축 및 운용방안 연구(II) (문현주)
 - 2014-14 지속가능한 지표수-지하수 혼합대 관리방안 (현윤정)
 - 2014-15 자원순환형 사회를 위한 법체계 정비 방안 연구 (한상운)
 - 2014-16 코호트 자료를 이용한 대기오염의 만성건강영향 평가체계 구축 (배현주)
 - 2014-17 층간소음 분쟁 완화를 위한 관리방안 연구 (박영민)

- 2014-18 저영향개발(LID) 기법의 환경영향평가 적용 방안 (이진희)
- 2014-19 기후변화 폭염 대응을 위한 중장기적 적응대책 수립 연구 (하종식, 정휘철)
- 2014-20 지표 기반 접근법을 이용한 기후변화의 사회경제적 영향 분석 및 전망(I) (채여라)
- 2014-21 SDGs 관점의 물인권 지원을 위한 한국의 ODA 전략방향 연구 (조을생)
- 2014-22 전력수급기본계획에 따른 미래 대기질 영향과 대응을 위한 국제공동연구(I) (심창섭)
- 2014-23 [협동] 생물자원에 대한 접근과 이익공유 실행을 위한 지역모델 개발 II (이현우)

- 2013년 2013-01 환경재정 DB 및 성과분석모형 구축 (강성원)
- 2013-02 미래지향적 물환경 목표와 관리체계 연구 (이병국)
- 2013-03 위해성 평가의 정책 활용도 제고를 위한 화학물질 Action Plan 수립 연구(I) (서양원, 박정규)
- 2013-04 전략환경평가제도의 실효적 운용방안 연구(I): 정책계획의 수립절차 및 특성을 중심으로 (유현석)
- 2013-05 기후변화 적응형 공간계획방법의 개발과 모의적용 연구(I) (김동현)
- 2013-06 해외 개발사업의 지속가능성 강화에 관한 연구 (정우현)
- 2013-07 생태계서비스지불제 이행 및 평가를 위한 지수체계 개발 (안소은)
- 2013-08 자원·환경위기 시대에 대비한 에너지가격 개편 추진전략 연구(II) (강만옥)
- 2013-09 초미세먼지(PM2.5)의 건강영향평가 및 관리정책 연구(II) (공성용)
- 2013-10 물환경 관리여건 변화를 고려한 수질오염 총량제도의 개선방안 연구 (김호정)
- 2013-11 지속가능한 상하수도 재정체계 구축 및 운용방안 연구 (문현주)
- 2013-12 지표수-지하수 혼합대의 환경측면 및 관리범주 연구 (현윤정, 김윤승)
- 2013-13 희토류자석의 자원순환 활성화를 위한 폐자원흐름의 분석 (조지혜, 이희선)
- 2013-14 총량제 생활폐기물 처리의 배출자부담원칙 확대 적용 방안 (이희선)
- 2013-15 환경보건 감시체계를 활용한 지역 특성별 환경정책수립 연구 (배현주)
- 2013-16 산업단지 환경영향평가의 건강 사회분야 평가강화 방안 (이영수)
- 2013-17 대규모 개발사업의 지속가능성 확보를 위한 예비타당성조사 제도 개선방안 (조광장)
- 2013-18 기후변화 적응정책 이행의 효과성 제고 방안 (명수정)
- 2013-19 가뭄 유형별 기후변화 적응정책 연구 (김연주)
- 2013-20 해외 생물자원 전통지식의 지속가능한 활용전략 연구 (오일찬)
- 2013-21 [협동] 한반도 기후변화 대응을 위한 남북협력기반 구축 연구(III) (명수정)
- 2013-22 [협동] 국가 해수면 상승 사회·경제적 영향평가(III) (조광우)
- 2013-23 [협동] 생물자원에 대한 접근과 이익공유 실행을 위한 지역모델 개발 (이현우)

- 2012년 2012-01 부문별 기후변화 적응대책 우선순위 평가 연구 (채여라)
- 2012-02 온실가스 목표관리제와의 연계를 고려한 국내 배출권거래제 세부운영방안 연구 (이상엽)
- 2012-03 초미세먼지(PM2.5)의 건강영향평가 및 관리정책 연구 I(공성용)
- 2012-04 4대강 물환경 개선 중심의 수량 및 수질 통합관리 정책 연구 (이병국)
- 2012-05 Rio+20 녹색경제 논의 대응 국가비전 및 발전방안 연구 (강상인)
- 2012-06 국가 환경보건지표로서 환경성질병부담 도입방안 (신용승)
- 2012-07 국제환경협력사업 내실화를 위한 국가전략 개발 (이 윤)

- 2012-08 기후변화 적응 정보 통합지원 체계구축에 관한 연구 (전성우)
- 2012-09 기후변화를 고려한 지류하천 관리 및 수생태 복원 방향 (강형식)
- 2012-10 기후변화에 따른 화학물질 위해성 관리방안 II (박정규, 서양원)
- 2012-11 기후변화 적응형 도시구현을 위한 그린인프라 전략 연구 (강정은)
- 2012-12 물발자국 개념의 정책적 도입과 활용방안 (노태호)
- 2012-13 상하수도시스템의 기후변화 적응전략 및 적응비용 추정 연구 (안중호)
- 2012-14 자원·환경위기 시대에 대비한 에너지가격 개편 추진전략 연구 (강만옥)
- 2012-15 자발적 협약의 현황 진단 및 효과적 활용방안 (정우현)
- 2012-16 환경정책 파급효과 분석을 위한 일반균형 모형 개발 (강성원)
- 2012-17 증장기 생물다양성 전략 추진체계 연구 (이현우)
- 2012-18 [협동] 한반도 기후변화 대응을 위한 남북협력 기반 구축 연구 II (명수정)
- 2012-19 [협동] 국가 해수면 상승 사회·경제적 영향평가 II (조광우)

정책보고서/수시연구

- 2016년 2016-01 가뭄 단계에 따른 적응형 가뭄관리정책 연구: 지역 차원의 비구조적 가뭄대책을 중심으로 (김호정)
- 2016-02 나노폐기물의 안전처리를 위한 관리전략 수립연구 (조지혜)
- 2016-03 TPP 환경관련 협정문 분석 및 대응방안 연구 (추장민)
- 2016-04 화학사고의 경제적 손실 추정을 위한 방법론 진단 및 선정 방안 연구 - 인적·생태적 피해액 추정을 중심으로 (서양원, 곽소윤)
- 2016-05 제주 탄소제로섬 추진전략 연구 (이병국)
- 2016-06 환경분야 공적개발원조(ODA) 사업평가 지침 마련을 위한 연구 (조공장)
- 2016-07 토양정화 곤란 부지의 최적 관리방안 연구 (박용하)
- 2016-08 실도료에서 경유차의 대기오염물질 초과 배출에 따른 사회적 비용 연구 (강광규)
- 2016-09 신기후체제의 기후변화 적응 및 손실과 피해에 관한 대응방안 (이승준)
- 2016-10 대기환경비용을 고려한 친환경차 구매 보조금 실효성 제고 연구(차종별 적정 구매 보조금 수준 분석을 중심으로) (한진석)
- 2016-11 유네스코 세계지질공원 운영 강화에 따른 국가지질공원제도의 개선방안 연구 (이수재)
- 2016-12 신기후체제 시대 기후변화 대응정책 추진체계 연구 (김이진, 이상엽)
- 2016-13 EU REACH 시험자료 분석을 통한 화평법 지원방안 연구 (박정규)
- 2016-14 환경영향평가와 지하안전영향평가의 연계방안 연구 (현윤정)
- 2016-15 비도시지역 주거-공장 혼재형 난개발 평가기준 개발 및 활용방안 마련 (이영재)
- 2016-16 미래 환경이슈 대응을 위한 환경정책과제 개발과 환경거버넌스 발전 연구 (추장민)

- 2015년 2015-01 Water and Sustainable Development in Korea : A Country Case Study (안중호)
- 2015-02 산업단지 등의 폐기물 처리시설 설치 의무화 기준 설정 연구 (주현수)
- 2015-03 생물다양성을 고려한 영향평가 방안에 관한 연구 (오일찬)
- 2015-04 토양의 이동에 대한 합리적 관리제도 마련연구 (황상일)

- 2015-05 국내 산지 능선의 지질-식생 상관관계 분석 (이수재, 이명진)
- 2015-06 환경분야 한중 FTA 활용 및 대책을 위한 정책과제 개발 (추장민)
- 2015-07 계획관리지역 토지이용 실태분석 및 환경관리 방안 (이영재)
- 2015-08 대기오염물질 배출사업장의 대기질 영향 분석 연구 (이승민)
- 2015-09 지자체의 보건의료시설 기후 회복력 강화·관리 방안 연구 (하종식)
- 2015-10 기후변화와 생태계 변화에 기반한 침입외래종의 관리 전략 (박용하)
- 2015-11 재활용동네마당 사업을 통한 생활폐기물 관리 선진화 연구 (신상철)
- 2015-12 AIIB 출범과 GCF 운영을 고려한 한국 환경외교의 방향 및 정책과제 (이정석)

- 2014년 2014-01 국내 살생물제(Biocide) 관리법 제정 방안 연구 (박정규)
- 2014-02 인구센서스를 활용한 사회적 약자 배려 환경영향평가방법론 개발 연구 (이상윤)
- 2014-03 기존시설 활용을 통한 효율적 도시 비점관리방안 연구: 산업단지, 공업지역 및 개별사업장을 중심으로 (한혜진)
- 2014-04 국가지질탐방로 도입 방안 연구 (이수재)
- 2014-05 오염정화토양의 재활용 촉진 및 반출정화 관리체계 개선 방안 연구 (황상일)
- 2014-06 자연환경보전 기본방침 수립을 위한 연구 (이현우)
- 2014-07 폐전기·전자제품 및 폐자동차의 자원순환 고도화 방안 마련 (신상철)
- 2014-08 육상풍력 개발사업 지형변화지수 연구 (김지영)
- 2014-09 초미세먼지로 인한 어린이 환경성 질환 영향 연구 (배현주)
- 2014-10 정책계획 전략환경영향평가를 위한 지표개발 (권영한)
- 2014-11 한반도 통합철도네트워크 구축을 위한 (전략)환경영향평가 방안 (전동준)
- 2014-12 라돈의 실내 공기질 규제에 따른 위해저감 효과 및 건강편익 산정 (신용승)
- 2014-13 가뭄재난 관리를 위한 용수공급 피해 분석 및 대응 연구 (김연주)
- 2014-14 법정관리 생태계교란식물의 피해 확산 방지를 위한 환경영향평가 방안 (방상원)

- 2013년 2013-01 화학물질 사고대응을 위한 제도개선 연구 (박정규)
- 2013-02 국가환경지리정보의 환경영향평가 활용현황 및 개선방안 (이상범)
- 2013-03 환경감리제도 도입에 대한 타당성 분석 (전동준)
- 2013-04 제도 홍보 및 성과확산을 위한 '환경영향평가 연차보고서' 발간 기획 연구 (박하늘)
- 2013-05 기후변화적응 홍보정책 전략 마련 연구 (하종식, 김동현)
- 2013-06 기후변화의 사회·경제적 영향 평가 체계 및 자료 구축 방안 연구 (채여라)
- 2013-07 환경교육 활성화를 위한 법제도 개선방안 (이미숙)
- 2013-08 자원순환정책 실효성 제고를 위한 중장기 과제 (한상운)
- 2013-09 수변지역 소규모 개발사업의 친환경적 관리방안 연구 (주용준)
- 2013-10 개도국 물인권 확립을 위한 Green ODA 활성화 방안 (이 윤)
- 2013-11 한-아세안 환경협력 전략 마련을 위한 사전연구 (강택구)
- 2013-12 석산개발지 입지유형별 복구 및 활용방안 (사공회)
- 2013-13 개도국 지속가능발전 역량강화사업의 발전방향 (조을생)

- 2013-14 동북아 대기오염 전망을 고려한 국내 석탄화력 발전 증설의 대기질 영향 분석 (심창섭)
- 2013-15 기후변화협약의 적응부문 논의동향과 우리나라의 대응방향 (명수정)
- 2013-16 도심지역 대심도 지하공간 개발의 환경영향과 정책 제언 (현윤정)
- 2013-17 온실가스 감축 관련 국가 계획 현황 및 개선방향 연구 (김이진)
- 2013-18 새만금 수질개선 방안 연구: 용담댐 방류량을 중심으로 (김연주)
- 2013-19 한반도 「그린 데탕트」 추진방안에 관한 연구 (추장민)
- 2013-20 국내 환경기술 수준과 EU BREFs 비교 및 BAT 도입시 비용사례분석 (공성용)

- 2012년 2012-01 Cities and Green Economy : Comparative Study of Korea, China and Japan (정우현)
- 2012-02 생물자원의 유용성 판단을 위한 기준 연구 (이현우, 김동욱)
- 2012-03 환경영향평가에 적용되는 3차원 소음예측모델의 가이드라인 마련 (선효성)
- 2012-04 환경갈등 예방을 위한 환경평가제도 개선 연구 - 환경영향평가 관련 소송 사례 분석을 통한 접근 (이영수)
- 2012-05 민간 부문의 기후변화 적응을 위한 정책 기본 방향 (명수정)
- 2012-06 내륙 유도선 운항에 따른 수질관리 제도개선 방안 연구 (안종호)
- 2012-07 영흥화력 7.8호기 증설 환경영향 및 경제성 분석 (강광규, 김종원)
- 2012-08 오염지하수 관리 강화를 위한 제도적 지원방안 (현윤정)
- 2012-09 간접방류 산업폐수 관리 개선방안 연구 (조을생)
- 2012-10 토양생태계의 지속성 관리를 위한 토양환경보전정책 방향 (박용하, 최현아)
- 2012-11 백두대간 기막에 대한 환경성평가 방안 연구 (이수재)
- 2012-12 기후변화 적응 정책 연구 로드맵 및 추진 전략 (권영한)
- 2012-13 중국의 對아세안 환경협력 현황 분석 (강택구)
- 2012-14 국토개발정책 변화와 공간환경정책의 발전방향 (최희선)

Working Paper

- 2016년 2016-01 시스템과 네트워크 이론을 활용한 미래 환경정책 방향 연구 (이승준)
- 2016-02 공공자료 분석을 통한 친환경적 풍력에너지 개발 기초 연구 (김태운)
- 2016-03 환경영향평가에서 활용 가능한 주민참여 방법 기초 연구 (이상운)
- 2016-04 자율주행 자동차의 친환경성 제고를 위한 기초 연구 (이승민)
- 2016-05 미래 고온환경 변화와 직종 간 임금격차 추정 (김동현)
- 2016-06 드론을 이용한 환경재난 사후대응 기술 및 연구동향 분석 연구 (손승우)
- 2016-07 건물부문의 환경 부하 평가 모형 개발을 위한 기초연구 (송지윤)
- 2016-08 근지표환경 임계영역(Critical Zones)의 환경적 중요성과 환경관리의 미래 이슈 (현윤정)
- 2016-09 시민과학의 자연환경조사 적용방안 연구 (김윤정)
- 2016-10 환경평가 자료의 공공서비스 지원을 위한 기초연구 (김태형)
- 2016-11 토지환경분야의 지속가능발전목표(SDGs) 이행을 위한 정책방향 설정 (명수정)

- 2016-12 건강영향평가 분야에서의 위해소통을 위한 리스크 테이블 제작 연구 (하중식)
- 2016-13 해외 환경정책 인벤토리 구축 연구: 환경전략/대기환경/물환경/국토자연/자원순환 부문 (조일현, 공성용, 한대호, 홍현정, 한상운)
- 2016-14 해외 환경정책 인벤토리 구축 연구: 환경평가 부문 (박하늘)
- 2016-15 해외 환경정책 인벤토리 구축 연구: 온실가스 감축 부문 (김이진, 간순영)
- 2016-16 지하수 개발사업의 환경영향평가 개선을 위한 기초연구 (김경호)
- 2016-17 토양자원 관리를 위한 전략환경영향평가 개선을 위한 기초연구: 도시개발사업을 중심으로 (양경)
- 2016-18 미세조류 바이오매스의 자원화 활용에 대한 연구: 바이오 (기능성)소재를 중심으로 (지민규)
- 2016-19 2016 국민환경의식조사 연구 (곽소윤)

- 2015년 2015-01 싱크홀 방지를 위한 환경영향평가 개선방안 연구 (김윤승)
- 2015-02 이슈스캐닝(Horizon Scanning)기법 활용을 통한 물환경관리 부문 이머징 이슈 발굴 연구 (한혜진)
- 2015-03 기후경제통합-지역평가모형(Regional Integrated Assessment Model of Climate and the Economy) 비교분석 및 국내 모형개발을 위한 기초연구 (황인창)
- 2015-04 기후변화로 인한 고온환경 근로자의 작업역량 저하 추정과 공간적 군집 파악 (김동현)
- 2015-05 환경영향평가 설명회·공청회 운영현황 분석 (조공장)
- 2015-06 도로 및 철도 사업의 토양분야 환경영향평가 사례 연구 (신경희)
- 2015-07 빅데이터를 활용한 환경보건서비스에 관한 기초연구 (간순영, 윤성지)
- 2015-08 자원순환분야 지속가능발전목표(SDGs) 이행 기반 마련을 위한 기초연구 (임혜숙)
- 2015-09 내륙습지에 대한 환경영향평가 개선방안 연구 I: 환경부 전국내륙습지 조사 지침(2011)의 적용을 중심으로 (방상원)
- 2015-10 자원순환성 평가제도 대상 확대를 위한 기초연구 (이소라)
- 2015-11 환경소음 빅데이터의 정책 활용성 제고 방안 (박영민)
- 2015-12 인과지도(Causal Loop)를 활용, 미래 물수급관리 정책 지원을 위한 기초연구 (류재나)
- 2015-13 생물안전 법제 기초연구 (홍현정)
- 2015-14 지방자치단체 환경영향평가 조례 운영현황 및 효율화 방안 (선효성)
- 2015-15 개발사업의 비점오염 영향평가방법 개발을 위한 기초연구 (이진희)
- 2015-16 환경영향평가제도에서의 생태계보전협력금 활용 개선방안 (이상범)
- 2015-17 환경가치 증장기 연구수요 조사 (곽소윤)
- 2015-18 세종특별자치시의 대기질 관리 기획 연구 (심창섭)
- 2015-19 2015 국민환경의식조사 연구 (곽소윤)

- 2014년 2014-01 국내 지하수의 자원·환경적 가치 확립을 위한 기초연구 (현윤정)
- 2014-02 층간소음의 건강영향에 대한 기초연구 (박영민)
- 2014-03 소음원 종류에 따른 3차원 소음예측모델 적용방안 마련 (선효성)
- 2014-04 개발사업 입지 및 계획기준의 조사·분석에 관한 연구 (주용준)
- 2014-05 기후변화 취약 근로 직종 파악을 위한 기초 연구 (김동현)
- 2014-06 불확실성을 고려한 수질오염총량관리 안전을 산정 기초연구 (정선희)
- 2014-07 기후변화 적응을 위한 공간계획 수립 시 도시/환경/방재분야 공간정보 연계·활용방안 연구 (김태현)

- 2014-08 기후변화를 반영한 내수침수 리스크 평가 방법론 고찰 (류재나)
- 2014-09 SEA 사후관리를 위한 해외 사례연구 (조한나)
- 2014-10 농어촌 관련 정책 및 계획에서의 기후변화 적응 고려 방안 (임영신)
- 2014-11 소음·진동 사후관리를 위한 기초연구 (선효성)
- 2014-12 2014 국민환경의식조사 연구 (이미숙)

- 2013년 2013-01 토양자원 유실 최소화를 위한 국내외 환경영향평가 사례 연구 (신경희)
- 2013-02 PM-2.5 환경영향평가 방안 연구 (이영수)
- 2013-03 지자체 적응대책 수립지원을 위한 기후변화 시나리오 자료 활용 방안 (정휘철)
- 2013-04 기후변화에 따른 도심지역 지질재해 리스크 체계 마련 (이명진)
- 2013-05 비전통가스 개발의 환경영향평가 가이드라인 마련을 위한 기초연구 (조한나)
- 2013-06 모니터링을 통한 친환경 계획기법의 적절성 검증 기초연구: 도시공간에서의 Stepping Stone을 중심으로 (최희선)
- 2013-07 국가와 지자체의 기후변화 적응대책 실효성 제고를 위한 연계강화 방안 (임영신)
- 2013-08 KEI 환경정보체계 발전방안 (전성우)
- 2013-09 도시하천 유역의 환경평가 방법 마련을 위한 기초 연구 (홍현정)
- 2013-10 제조업 환경비용의 국제비교 (조일현)
- 2013-12 자연경관심의회도의 현황분석 및 제도 개선방안 (주용준)
- 2013-13 층간소음 관리를 위한 기초연구 (박영민)
- 2013-14 지속가능성 관점에서의 산업구조 변화 분석 (이미숙)
- 2013-15 KEI 중국환경 증장기 연구계획 수립을 위한 기획연구 (추장민)
- 2013-16 기후변화 적응관련 취약계층 지원 대책 현황조사 및 분석 연구 (신지영)
- 2013-17 한국 ODA사업의 환경평가 모니터링 현황과 해외사례 비교 연구: 사업 종료 후 모니터링 사례를 중심으로 (김태형)
- 2013-18 국내 전략환경평가의 사회·경제성 부문 기능 확립을 위한 기초연구 (이상운)
- 2013-19 환경영향평가지의 시설별 유해대기오염물질 배출량 산정을 위한 기초연구 (주현수)
- 2013-20 지형장애물 분석을 통한 환경현황 자료 작성방안 (김지영)
- 2013-21 상수원보호구역 상·하류의 수변지역 관리방안 연구: 잠실상수원보호구역과 팔당상수원보호구역 구간 중심으로 (김태운)
- 2013-22 2013 국민환경의식조사 연구 (이미숙)

- 2012년 2012-01 기후변화를 고려한 농업 가뭄지수 활용 및 적용 기초 연구 (이진영)
- 2012-02 산림경영 기반시설의 주요 환경영향: 선형사업(임도) 중심으로 (천영진)
- 2012-03 방조제 건설에 따른 연안환경의 증장기 변화 평가 연구: 아산만 수치모델링 중심으로 (김태운)
- 2012-04 지속가능한 지하수자원 확보를 위한 지하수보전구역 지정 연구: 외국의 지하수보전구역 사례 분석 (현윤정)
- 2012-05 공공부문의 지역별 환경보호지출 및 수입(EPER) 통계 추계 (조일현, 김종호)
- 2012-06 누적영향평가 적용의 사례 분석 및 시사점 연구 (김진오)

- 2012-07 유해성에 따른 「폐기물 종료기준」의 해외 현황 및 정책적 시사점 (조지혜 외)
- 2012-08 도시 지하공간 조성에 따른 환경영향 관리 방향 연구 (김윤승)
- 2012-09 폐기물 처리관련 업종의 여건변화가 여타 산업에 미치는 영향 분석 (신상철)
- 2012-10 미래 건강부담 추정치의 영향요인 고찰 - 기후변화에 따른 폭염 증가를 중심으로 (하중식, 신용승)
- 2012-11 세일가스 국내 도입에 따른 에너지·환경 정책 수립을 위한 기초연구 (주현수, 조한나)

사업보고서

- 2016년 2016-01-01 기후환경 대응역량 평가체계 구축 (채여라)
- 2016-01-02 기후변화에 따른 국가 리스크 정량화 연구(III): 연안시스템을 중심으로 (조광우)
- 2016-02 개발사업의 소음모니터링 분석과 개선방안 (선효성)
- 2016-03 온실가스 감축정책 평가를 위한 환경경제모형 개발·운용 (강성원, 박창석)
- 2016-04-01 한중일 3국의 환경투자가 산업에 미치는 영향 비교분석 및 환경산업 활성화 방안 연구 (이정석)
- 2016-04-02 통일 대비 북한지역 자연재해 대응을 위한 자료 구축과 남북협력 방안 연구(I) (강택구)
- 2016-05 물환경 서비스와 물 인프라의 지속가능성 평가(III) (강형식)
- 2016-06 빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향 평가 및 피해비용 추정(II) (안소은)
- 2016-07 셋강 관리 및 이용 활성화 방안 연구(II) (강형식)
- 2016-08 생물다양성협약 이행 지원 프로그램 기획·운영 (이현우)
- 2016-09 환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영 (문난경)
- 2016-10 환경·경제 통합분석을 위한 환경가치 종합연구 (이창훈)
- 2016-11 원전사고 대응 재생계획 수립방안 연구: 후쿠시마 원전사고의 증장기 모니터링에 기반하여 (조공장)
- 2016-12-02 녹색경제 평가를 위한 지표체계 개발 (김중호)
- 2016-12-03 친환경적 태도-행동 분석 모형 구축을 통한 친환경소비 활성화 방안 연구 (곽소윤)
- 2016-12-04 자연해택평가를 통한 지역경제 활성화(I) (김충기)
- 2016-12-05 아태지역 녹색경제 이행과 메콩유역 농업부문 융합혁신 전략 연구 (강상인)
- 2016-13 농촌지역 환경복지 증진을 위한 가축매몰지 피해 관리방안 연구 (황상일)
- 2016-14 대도시 지역의 극한 홍수로 인한 복합영향 메커니즘 및 정책 결정 네트워크 분석 (채여라)

- 2015년 2015-02-01 환경성을 고려한 재생에너지 자원 관리의 발전전략 (권영한)
- 2015-02-02 화력발전소 회차리에 따른 환경영향 최소화방안 연구(II): 석탄회의 친환경적 활용방안 연구 (맹준호)
- 2015-02-03 해양에너지 개발을 위한 전략환경평가방안 연구 II: 해상풍력 발전사업의 입지선정 방안을 중심으로 (김태운)
- 2015-03-01 기후환경 리스크 전망과 국가전략(2) (박창석)
- 2015-03-02 기후변화에 따른 국가 리스크 정량화 연구 (2): 연안시스템을 중심으로 (조광우)
- 2015-04 환경평가 모니터링 사업 (이영준)

- 2015-05 온실가스 감축정책 평가를 위한 환경경제모형 개발·운용 (김용진)
- 2015-06-01 지속가능발전 관점에서 본 새마을운동 재조명 (강택구)
- 2015-06-02 북한지역 하천실태조사 및 지속가능한 이용방안 연구(2): 압록강유역 하천보전 및 지속가능개발 국제협력방안 (추장민)
- 2015-06-03 동아시아 대도시 대기질 개선을 위한 국제 공동 연구 (심창섭)
- 2015-07 물환경 서비스와 물 인프라의 지속가능성 평가 (강형식)
- 2015-08 빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향 평가 및 피해비용 추정 (안소은)
- 2015-09 생물다양성협약 이행 지원 프로그램 기획·운영 (이현우)
- 2015-10 환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영 (문난경)
- 2015-11 셋강 관리 및 이용활성화 방안 연구 (강형식)
- 2015-12-01 환경정책이 일자리 창출에 미치는 효과 연구 (강만옥)
- 2015-12-02 Post 2015 SDGS 대응 녹색경제 이행 전략 연구 (강상인)
- 2015-12-03 자원순환경제로의 이행을 위한 정책평가 방법론 개선: 폐기물산업연관표 구축 및 활용을 중심으로 (신상철)
- 2015-12-04 녹색경제 확산을 위한 국제협력방안(II): 메콩지역의 월경성 전략환경평가체계 구축을 중심으로 (유현석)
- 2015-12-05 환경분야 일자리 수요 현황 및 전망 (김종호)
- 2015-13-01 캄보디아-한국 환경연구센터 설립의 계획 수립에 관한 연구 (유현석)
- 2015-13-02 Integrated Policy making for the Water-Food-Energy Nexus and Sustainable Development (1): Water-Energy Nexus (김호석)
- 2015-14 자연자본의 지속가능성 제고를 위한 의사결정 지원체계 개발 (이현우)

- 2014년 2014-02-01 화력발전소 회차리에 따른 환경영향 최소화 방안 연구 (맹준호)
- 2014-02-02 국가 에너지 계획에 관한 전략환경평가 방안 연구 (김지영)
- 2014-02-03 해양에너지개발을 위한 전략환경평가방안 연구: 해상풍력사업의 입지선정을 중심으로 (김태운)
- 2014-03-01 기후환경 리스크 전망과 국가 전략(I) (박창석)
- 2014-03-02 기후변화에 따른 국가 리스크 정량화 연구(I) (조광우)
- 2014-04-01 환경평가가 완료된 개발사업의 검증 및 평가(II) (주현수)
- 2014-04-02 환경평가 사후관리 연차보고서 (주현수)
- 2014-05-01 물문화 선진화의 정책 방향 설계 III (강형식)
- 2014-05-02 물이용 인식 선진화 정책 연구 III (문현주)
- 2014-06 온실가스 감축정책 평가를 위한 환경경제모형 개발 운용 (김용진)
- 2014-07-01 동아시아 환경변화 분석 및 대응 연구(I): 기후대기 및 생물자원 중심으로 (심창섭)
- 2014-07-02 북한지역 하천실태조사 및 지속가능한 이용방안 연구(I): 두만강유역 하천보전 및 지속가능개발 국제협력방안 (추장민)
- 2014-07-03 대ASEAN 환경협력 강화를 위한 중견국 한국의 역할 (강택구)
- 2014-08 물환경 서비스와 물 인프라의 지속가능성 평가 사업 (이병국)
- 2014-09-01 녹색창조경제의 기반구축 연구 (이창훈)

- 2014-09-02 효과적 수요관리를 위한 에너지환경 규제 개선방안(II) (이미숙)
 - 2014-09-03 녹색 사회적 기업의 역할 제고 방안 (정우현)
 - 2014-09-04 사업장 폐기물 목표관리에 의한 자원순환촉진방안(I) (한상운)
 - 2014-09-05 녹색경제 확산을 위한 국제협력 방안(I): 메콩지역 수력에너지 분야 중심으로 (유현석)
 - 2014-09-06 농어촌 지역 생활 폐기물의 효율적 처리 방안 연구 (신상철)
 - 2014-10-01 캄보디아 환경현황 조사 및 환경연구센터 설립 지원방안 수립 (유현석)
 - 2014-10-02 개도국의 안전한 음용수 확보를 위한 적정 정수처리 기술이전 및 보급 확대(III): 막증류 정수처리 현장규모 scale-up 연구 (조을생)
 - 2014-11 유엔생물다양성협약의 논의 동향과 대응 방안 연구 (명수정)
 - 2014-12 한중 생태계서비스 지불제도 비교분석 및 협력방안 연구 (추장민)
-
- 2013년 2013-01 저탄소 사회로의 이행을 위한 소비행태 조사 및 분석 모형 개발·운용 III(김용건)
 - 2013-02-01 물문화 선진화의 정책방향 설계(II) (강형식)
 - 2013-02-02 물이용 인식 선진화 정책 연구(II) (문현주)
 - 2013-03-01 국가별 기후변화 적응전략에 따른 우리나라의 리스크 대응방안 연구 (이수재)
 - 2013-03-02 국가 리스크 최소화를 위한 부문별 국내외 리스크 요인 파악 및 관리 방안 분석 (채여라)
 - 2013-04-01 발전소 냉각수 배출에 따른 해양환경 영향예측 및 최소화 방안 연구 (맹준호)
 - 2013-04-02 조류발전사업 환경평가방안 연구 (김태운)
 - 2013-05-01 환경평가 완료된 개발사업 등의 검증 및 평가방안 (강광규, 최상기)
 - 2013-05-02 화학물질 누출사고의 위해성 평가를 통한 산업단지 환경영향평가 개선방안 연구 (주현수)
 - 2013-05-03 환경평가 사후관리 제도개선 및 통계구축 (최희선)
 - 2013-05-04 4대강 살리기 사업 사후환경영향조사 분석·평가 및 개선방안 연구 (전동준)
 - 2013-06-01 인도네시아 국립공원의 공원자원과 생태계보전을 위한 환경친화적 관리방안 (III) (이현우)
 - 2013-06-02 시진핑시대 중국의 역내 환경협력 전망 (강택구)
 - 2013-06-03 동북아 지역의 대기관리를 위한 국제협력 기획연구 (심창섭)
 - 2013-06-04 Sustainable development of eco-friendly traditional lifestyle in rural ethnic minority areas in Yunnan(II) (Oh, Il-Chan et al.)
 - 2013-06-05 개도국의 안전한 음용수 확보를 위한 적정 기술이전 및 보급확대 II: 막증류 정수처리 (조을생)
 - 2013-06-06 동아시아지역 개도국의 녹색성장 전략 개발 및 보급 자료집 (노태호)
 - 2013-07-01 대동강 하천복원 및 유역관리 남북협력방안 연구(4차) (추장민)
 - 2013-07-02 북·중 접경지역 개발현황 및 환경상태 조사(3차) (강택구)
 - 2013-07-03 남북환경협력기반구축 사업 (노태호)
 - 2013-07-04 KEI 북한환경동향 2013년 (추장민)
 - 2013-08-01 KEI 연구성과 확산을 위한 국제공동연구 개발 (이 윤)
 - 2013-08-02 KEI의 환경분야 국제협력사업 수행을 위한 자체지원 시스템 개발 (심창섭)
 - 2013-08-03 지속가능발전 연구기관 네트워크(NISD) 운영 (노태호)
 - 2013-09-01 녹색성장 국가전략의 평가 및 개선 방향 (장기복)
 - 2013-09-02 화석연료 사용의 사회적 비용 추정 및 가격합리화 방안 II (김용건)

- 2013-09-03 효과적 수요관리를 위한 에너지환경 규제 개선방안 (이미숙)
- 2013-09-04 기후변화 대응을 위한 환경금융 활성화 방안 (이정석, 강희찬)
- 2013-09-05 녹색경영 확산을 위한 법·제도 개선방안 (이창훈)
- 2013-09-06 지역 오염부지의 재이용 비전과 전략 II (김윤승, 현윤정)
- 2013-09-07 글로벌 녹색경제 확산 및 협력체계 구축 : 라오스, 캄보디아의 농업 부문을 중심으로 (조을생)
- 2013-09-08 효율적 환경자원 관리를 위한 환경행정체계의 발전방안: 중앙정부와 지자체의 역할을 중심으로 (정우현)
- 2012년 2012-01 저탄소 사회로의 이행을 위한 소비행태 조사 및 분석 모형 개발·운용 II (김용건)
- 2012-02 국가리스크 관리를 위한 기후변화 적응역량 구축·평가 (이수재)
- 2012-03-01 물문화 선진화의 정책방향 설계(I) (홍용석)
- 2012-03-02 물이용 인식 선진화 정책 연구(I) (문현주)
- 2012-04-01 CCS 사업 추진에 대비한 환경평가 방안(II) (조공장)
- 2012-04-02 원자력에너지 개발 환경관리전략 연구 (조공장)
- 2012-04-03 조력 및 해상풍력사업 환경평가방안에 관한 연구: I.조력발전사업 (맹준호)
- 2012-04-04 조력 및 해상풍력사업 환경평가방안에 관한 연구: I.해상풍력발전사업 (맹준호)
- 2012-05-01 성남 판교지구 택지개발사업의 환경평가 모니터링 시범사업 (박영민)
- 2012-05-02 4대강살리기사업 2단계 사후모니터링 실태분석 (전동준)
- 2012-05-03 환경평가 모니터링 사업 자료집 (강광규)
- 2012-06-01 인도네시아 국립공원의 공원자원과 생태계보전을 위한 환경친화적 관리방안(II) (이현우)
- 2012-06-02 남몽골 자원개발과 지역지속가능발전연구 (정우현)
- 2012-06-03 Sustainable Development of Eco-Friendly Traditional Lifestyle in Rural Ethnic Minority Areas in Yunnan (II-Chan Oh)
- 2012-06-04 동아시아지역 개도국의 녹색성장 전략 개발 및 보급 자료집 (노태호)
- 2012-07-01 하천복원 및 유역관리 남북협력방안 연구 (강택구)
- 2012-07-02 북·중 접경지역 개발현황 및 환경상태 조사(II) (오일찬)
- 2012-07-03 KEI 북한환경동향 2012년 (노태호)
- 2012-08-01 Ethiopian Water Resource Development II: Analysis of External Effect of Climate Change & Downstream Areas (Yoon Lee)
- 2012-08-02 Building the Green Village based on Biomass Energy in Guatemala(II): Guideline for Building the Green Village (Woo Hyun Chung)
- 2012-08-03 지속가능발전연구기관네트워크(NISD) 운영 (노태호)
- 2012-14-01 중고령 은퇴인력 환경분야 활용방안 연구(I) (강성원)
- 2012-14-02 환경거버넌스의 다각화 현황 및 시사점 (정우현)
- 2012-15-01 2012 녹색성장종합연구 사업보고서 (장기복)
- 2012-15-02 화석연료 사용의 사회적 비용 추정 및 가격구조 합리화 방안 (강만옥)
- 2012-15-03 녹색생활의 정착 및 기반 조성 방안 (강희찬)
- 2012-15-04 지역 오염부지의 재이용 비전 및 전략 (김윤승, 현윤정)

2012-15-05 Korea-Vietnam Joint Project for Building Framework of Disseminating Green
Growth in Southeast Asia (Woo Hyun Chung and Sang In Kang)

※ KEI 설립 이후 현재까지의 보고서 원문은 KEI 홈페이지(www.kei.re.kr)에서 보실 수 있습니다.