2024 과학혁신 시리즈
강연집 Vol. 1



기후 위기,
숲에서 길을 찾다

CHEY

CHEY 최종현학술원

2024 과학혁신 시리즈
강연집 **Vol. 1**



기후 위기,
숲에서 길을 찾다

CHEY

나무를 심어 인재를 양성하다

故 최종현 SK 선대회장은 숲과 나무에 남다른 열정을 가졌던 기업 임업의 선구자이다. 미국 유학 시절 한국의 산에 나무를 심어 세계적인 석학을 양성하겠다는 다짐을 한 그는 1972년 국내 최초의 산림 기업 서해개발주식회사(現 SK임업주식회사)를 설립했다. 수익이 불분명하고 투자 회수가 어려운 환경에서도, '나라를 사랑하는 사람이 나무를 심는다'는 신념으로 헐벗은 비경제 임야를 확보하여 삼나무, 편백나무, 백합나무 등 특용 활엽수를 심고 우리나라에 생태적, 경제적으로 적합한 수종을 연구했다. SK임업이 그간 가꾼 산림은 면적 4,500 ha, 나무 400만 그루에 이른다.

후대는 당장의 수익보다 장기적인 사회적, 환경적 가치를 만드는 것에 의미를 두고 '사람을 키우듯 멀리 내다보고 숲을 키워야 한다'는 마음으로 숲을 조성한 故 최종현 선대회장의 업적을 높게 평가한다. 2010년 4월 그는 조림과 국토녹화를 위해 힘쓴 공로를 인정받아 경기도 포천시 소재 국립수목원 숲의 명예전당에 헌정되었다. 숲의 명예전당은 산림청이 100만 그루 이상 나무를 심고 가꾸거나, 나무의 신품종 개발과 임업기술 연구개발 등에 공헌한 인물을 선정하는 임업 분야 최고 권위의 상이다.

국립수목원 숲의 명예전당 기념비에 담긴 글 중 일부를 나눈다.

"희망이 있는 민족만이 숲을 가꾼다고 하였다. 온 국민의 정의로운 노력과 사랑과 정성으로 다시 살아난 우리의 숲은 경제와 환경과 문화를 아우르는 복합생명자원으로서, 커가는 국력과 함께 한민족의 자존심이 되었다.

이에 「숲의 명예전당」을 이곳에 세우고 국토녹화에 크게 공헌한 분들을 모시어 그 업적을 후세에 전함으로써 이땅의 모든 이들과 함께 숲을 사랑하는 정신을 이어가고자 한다."

-「숲의 명예전당을 세우며」 中에서





| 사진 | (왼쪽, 사진제공=SK그룹) 故 최종현 선대회장과 故 박계희 여사 부부가 1977년 3월 충남 천안 광덕산 조림지에 묘목을 심고 있는 모습. (오른쪽, 사진제공=최종현학술원) 국립수목원 숲의 명예전당에 헌정된 故 최종현 선대회장.

Scientific
Innovation
Series

CONTENTS

들어가며 06

CHAPTER 1 최종현학술원 과학혁신 시리즈 13

CHAPTER 2 기후 위기, 숲에서 길을 찾다 17

2-1. 강연에 대해 18
2-2. 함께한 연사들 20

CHAPTER 3 강연 톺아보기 23

3-1. 기후변화와 산림 24
3-2. 국제사회 속의 산림 30
3-3. AI, DT, 빅데이터 기반 산림 관리 기술 38
3-4. 탄소시장과 산림의 경제적 가치 45
3-5. 탄소 감축을 위한 EPC와 산림 58
3-6. 토론 65

CHAPTER 4 편집자 덧말 73



최태원

한국고등교육재단·최종현학술원 이사장 / SK그룹 회장

SK그룹이 세계적 기업으로 자리매김하기까지, 그 발판에는 기업의 사회적 책임을 강조했던 故 최종현 선대회장의 진지한 고민과 성찰이 있었습니다. 선대회장은 영리 추구라는 기업인의 과제를 뛰어 넘어, 시간이 갈수록 더욱 빛을 발하는 두 가지 가치를 우리에게 남겼습니다.

첫째는 '사람'입니다. 선대회장은 기업에게도 국가에게도 사람이 시작이자 마지막이라 여겼습니다. 미래를 이끌어 갈 인재를 발굴하고 키우는 일에 직접 나서고자, 사재를 털어 1974년 한국고등교육재단을 설립했습니다. 세계 최고 학자를 양성한다는 일념하에 조건 없는 장학 사업을 펼치며, 재단은 지난 50년 동안 학문, 사회, 국가 발전에 공헌해왔습니다. 2018년 선대회장 20주기를 맞아 출범한 최종현학술원은 재단이 일군 인적 자원을 확대하여 새로운 지식 생태계를 구축하는 다양한 사업을 추진하고 있습니다.

둘째는 '나무'입니다. 무분별한 벌목으로 황폐해진 우리 국토를 안타깝게 여긴 선대회장은 1972년 서해개발주식회사(現 SK임업)을 설립하고, 현대적이고 과학적인 조림 사업을 한국에 처음 도입했습니다. 그리고 일생 동안 1,200만 평에 300만 그루 나무를 심어 거대한 숲을 키웠습니다. 묘지 면적 증가가 환경 문제로 이어지던 90년대 말 화장으로 생을 마무리하며 장묘 문화 개선에 모범을 보인 후, 지금은 생전에 아끼던 나무 곁에서 영면을 취하고 있습니다.

사람을 키우듯 나무를 키우고, 나무를 키우듯 사람을 키웠던 최종현 선대회장의 발자취가 오늘날 우리에게 주는 교훈은 무엇일까요? 전 세계는 인구절벽, 저성장, 에너지 부족, 기후변화 등 인류 생존을 위협하는 다양한 난제를 마주하고 있습니다. 이렇게 광범위하고 복잡한 문제를 해결하기 위해서는 장기적인 안목과 과감한 실행력이 필요합니다. 2021년 유엔무역개발회의(UNCTAD)는 대한민국 지위를 개발도상국에서 선진국으로 격상했습니다. 국내 문제를 넘어 고민을 아시아로,

들어가며

전 세계로 확대해야 하는 의무가 생겼다는 뜻입니다. 이제 인류 공통의 목표를 향해 국제 무대에서 연대와 협력을 주도해야 합니다. 이를 위해 산업계도 눈 앞의 수익보다는 지속가능한 혁신과 가치를 추구하는 신(新)기업가정신으로 무장해야 합니다.

변화에 앞장서는 것은 이미 일어난 변화를 따라가는 것보다 훨씬 더 어려운 일입니다. 인재도, 나무도 부족했던 50년 전 한국에 희망의 씨앗을 심었던 선대회장의 뜻을 되새기며, 한국고등교육재단과 최종현학술원이 각계각층의 지혜를 모아 미래를 위한 고민을 진지하게 나눠보겠습니다. 세대와 직군, 성별, 국경을 초월하여 소통하는 과정에서 후대에 물려줄 소중한 자산을 마련할 수 있을 것입니다.

이 강연집은 기후변화라는 시급한 과제를 어떻게 해결할지에 대한 고민을 담고 있습니다. '운명의 날 시계(the Doomsday Clock)'는 우리를 기다려주지 않겠지만, 안타깝게도 아직 명쾌한 해결책이 없습니다. 그러나, 나무와 숲을 활용하여 자연 고유의 회복력을 높이는 방법, 탄소시장을 통해 경제 논리로 탄소중립에 다가가는 방법, 복잡한 이해관계로 얽힌 국가들이 국제 체제 내에서 협력하는 방법 등을 여러 전문가가 끊임없이 연구하는 만큼 희망과 가능성도 보입니다.

한국은 성공적인 국토 녹화 경험과 탄탄한 정보통신 인프라를 바탕으로 첨단 산림 관리 분야를 선도할 국제적 역량을 갖추고 있습니다. 이미 아시아를 넘어 전 세계로 리더십을 확대하고 있는 우리나라 산림 전문가 분들의 활약이 앞으로 더 기대됩니다. 이 책이 읽는 분들로 하여금 기후변화 대응에 대해 깊이 생각해 보고, 지속가능한 미래를 위해 우리가 할 수 있는 일이 무엇인지 함께 고민하는 계기가 되기를 바랍니다.



최병일

한국고등교육재단 명예사무총장

한국고등교육재단 역사는 황무지에서 울창한 숲을 일궈낸 것과 같습니다. 모든 것이 부족했던 1974년 대한민국에서 민간 기관 최초로 장학 사업을 시작해, 지금까지 지원한 장학생 수가 4,300여 명, 배출한 박사학위자 수는 1천여 명에 이릅니다. 재단이 키운 학자와 전문가는 세계 무대에서 활약하며, 미래 세대에 꿈을 심어주는 인재 양성 선순환에 참여하고 있습니다.

故 최종현 선대회장은 인재 양성뿐 아니라 산림 녹화에도 큰 기여를 한 분입니다. 선대회장을 포함한 많은 선각자의 노력으로, 더 이상 식목일에 의무적으로 나무를 심을 필요가 없을 만큼 우리나라 산림 녹화 사업은 성공을 거두었습니다. 이렇게 빨리 산림 선진국이 된 사례는 전 세계 어디에도 없습니다. 하지만, 지난 성과에 도취한 나머지 앞으로의 과제를 잊어버린 건 아닌지 걱정도 해봅니다. 산림 수종 다양성과 활용 가치 제고, 병해충 방제, 산림 관리 기술 고도화 등 울창한 숲을 이룬 후에도 아직 해결할 일이 많습니다.

산림 녹화는 우리가 가진 수많은 성공 신화 중 하나입니다. 지난 50년간 대한민국은 경제적, 사회적, 문화적으로 눈부시게 성장했습니다. 그러나 짧은 시간 안에 너무나 많은 것을 이뤄낸 만큼 그늘 또한 선명합니다. 기득권을 지키기 위해 잔뜩 날이 선, 갈등과 대립 속 공공의 가치가 함몰된 오늘날 우리 모습을 보면서 안타까움을 느낍니다. 한국처럼 1인당 지식 축적량이 많은 나라도 없는데, 왜 우리는 많은 지식을 사회 갈등 해결에 잘 활용하지 못할까요?

이제는 지식의 총량을 늘리는 데만 몰두할 게 아니라, 축적된 지식을 어떻게 활용할지 고민이 필요한 때입니다. 이 책에 담긴 나무와 숲 이야기는 산림 분야를 넘어, 기후변화라는 전 지구적 문제를 해결하는 데 있어서 우리가 가진 지식을 어떻게 활용할지 실마리를 보여줄 것입니다. 나아가, 이 책을 통해 사회적 가치를 실현하는 과정에서 과거의 성취와 앞으로의 과제를 성찰하고, 갈등을 해결하는 지혜를 얻을 수 있길 기대합니다.

학문과 사회의 발전을 넘어 자연과의 공생, 인류 행복과 번영이라는 더 큰 화두 앞에 앞으로 세상을 이끌 인재는 어떤 모습인지 고민의 깊이가 한층 깊어집니다. 한국고등교육재단의 다가올 50년에는 우리의 고민이 희망의 싹으로 바뀌어, 또 다른 울창한 숲으로 성장하기를 응원합니다. '인류를 위한 인재 양성'이라는 시대적 사명을 갖고, 당장 눈에 보이지 않을지라도 세상에 꼭 필요한 가치를 묵묵히 추구해 나갈 한국고등교육재단의 미래를 지켜봐 주시기를 바랍니다.



김유석

한국고등교육재단·최종현학술원 대표이사

한국고등교육재단 새로운 50년을 시작하며 벅찬 기대와 함께 큰 책임을 느낍니다. 세계 최고 수준 학자를 배출한 성과를 바탕으로, 선진국이 된 대한민국에 걸맞은 새로운 인재상을 고민하는 시기이기도 합니다. 불확실한 미래를 스스로 개척하며, 인류 공통의 난제를 창의적으로 해결하는 인재는 어떻게 발굴하고 양성해야 할까요? 이 질문에 대한 답을 찾는 여정에 우리 재단이 앞장서 나가고자 합니다. 결코 쉽지 않은 숙제인 줄 알기에, 많은 분들의 지지와 조언을 부탁드립니다. 모두의 고민과 노력으로 키운 차세대 인재가 세계 무대에서 대한민국의 리더십을 더욱 공고히 하는 날을 그려봅니다.

최종현학술원은 2018년 한국고등교육재단을 모태로 출범한 이래, 한반도와 주변국의 지정학적 위기, 날로 가속화하는 과학혁신이 가져올 도전과 기회를 분석하고, 미래를 위한 대응 전략을 수립하는 활동에 힘써 왔습니다. 그동안 많은 분들의 도움 덕분에 미국, 일본, 중국, 동남아시아 등 세계 곳곳에 인적, 지적 네트워크를 구축할 수 있었습니다. 이제 학제 간, 산학 간, 민관 간 교류를 주도하며 한국을 넘어 아시아로, 전 세계로 영향력을 펼치는 지식 플랫폼으로 도약하고자 합니다.

한국고등교육재단과 최종현학술원은 큰 뿌리를 공유하는 한 가족입니다. 故 최종현 선대회장의 철학을 이어받아, 인재 양성과 지식 교류라는 사명을 함께 실천하고 있습니다. 더불어, 다양한 방법론으로 사회 문제 해결에 앞장서고 있는 사회적가치연구원이 이번 강연집 발간에 함께 한 것도 의미가 큽니다. 앞으로 활발한 협업과 소통을 통해 시너지를 발휘하면서, 새로운 가치를 만들어 나가는 데에 뜻을 모으겠습니다.

기후변화와 숲을 주제로 강연집을 준비하면서, 생명의 터전인 숲이 무너진 탄소 균형을 바로잡고 이전에 없던 경제적 가치까지 창출하는 소중한 자원임을 새삼 느꼈습니다. 국토 녹화의 성공 신화를 뒤로 하고, 탄소중립 핵심 수단으로서 숲의 활용 가치를 어떻게 높일 수 있을지 다음 과제도 생각해봅니다. 지금 한국의 숲은 고령화 문제를 겪고 있습니다. 단순히 나무를 많이 심는 것 외에, 잘 가꾸고, 적절히 베어 목재와 에너지원으로 활용하면서, 그 자리에 어린 나무를 다시 심는 선순환이 필요한 때입니다.

전통적인 탄소 흡수원 산림이 AI라는 첨단 기술을 만나 혁신을 만들어 가는 모습도 흥미롭습니다. 많은 인력과 시간을 요구하던 산림 관측 및 분석 연구가 위성 빅데이터와 AI 활용으로 시공간의 한계를 넘고 있습니다. 더 빨리, 더 넓게 세계 곳곳의 산림 현황을 파악하고, 미래를 내다보게 해줍니다. 기후변화 대응이라는 큰 도전 앞에 첨단 과학기술이 점차 더 많은 기회를 만들어 낼 것으로 기대합니다. 특히, 그 변화의 선봉에서 한국 산림 리더십이 더욱 꽃을 피우길 응원합니다.

CHAPTER

1

최종현학술원
과학혁신 시리즈



최종현학술원 과학혁신 시리즈

Scientific Innovation Series

최종현학술원

최종현학술원(Chey Institute for Advanced Studies)은 故 최종현 SK 선대회장 20주기를 기념해 출범한 지식 교류 플랫폼입니다. 한반도와 주변국을 둘러싼 지정학 위기, 날로 가속화하는 과학기술 혁신이 가져올 도전과 기회를 분석함으로써 미래를 향한 대응 전략을 모색하고 있습니다. 세계 주요 대학 및 연구소와의 협력, 창의적인 학제 간 연구 지원 등 새로운 지식 창출과 확산에 기여하는 다양한 활동을 추진 중입니다.

과학혁신 시리즈

과학혁신 시리즈는 첨단 과학기술 분야의 세계적 석학과 전문가를 초청하여 과학기술 발전이 미래 사회와 인간의 삶을 어떻게 변화시킬지 조망하는 지식 나눔 프로그램입니다. 최종현학술원 YouTube 채널과 홈페이지(www.chey.org)에서 과학혁신 시리즈를 만나실 수 있습니다.

과학혁신 시리즈
YouTube 바로가기

2024

- 생성형 AI, 모방을 넘어 창작으로 – AI는 어떻게 느끼고, 생각하고, 표현하는가?
- AI 대전환, 반도체가 이끈다 – 생성형 AI 시대의 하드웨어 딥 체인지
- AI로 다시 쓰는 바이오 혁신 – 신약 및 의료의 새 지평과 성장 전략
- 기후 위기, 숲에서 길을 찾다 – 탄소중립과 산림, 한국의 리더십

2023

#25 • How Do You Feel? – 촉각과 분자생물학 

#24 • 스토리텔링과 기술 위기 극복

#23 • 뇌 과학 혁신 – AI, 전자 회로, 게임

#22 • 우주 관측, 탐사의 새 지평 

#21 • 초고해상도 현미경과 분자생물학 세계 

#20 • 중력파, 우주 탐사의 새로운 지평 

#19 • 양자 컴퓨팅과 정보 위기

#18 • 우주 개발 경쟁과 한국

#17 • 차세대 반도체 기술과 미래

#16 • 양자 컴퓨터와 첨단 기술의 미래


2024 과학혁신 시리즈
기후 위기, 숲에서 길을 찾다
탄소중립과 산림, 한국의 리더십
SCIENTIFIC
INNOVATION

CHAPTER

2

기후 위기, 숲에서 길을 찾다

탄소중립과 산림, 한국의 리더십



2-1.
강연에 대해

강연을 위한 질문

- 탄소중립 전략에서 산림은 어떤 경제적, 사회적 가치를 가질까요?

- 한국의 산림 관리 역량은 아세안과 글로벌 차원의 기후 위기 대응에 어떻게 기여하고 있을까요?

- 인공지능(AI)과 결합한 첨단 산림 관리 기술은 탄소중립 달성을 위해 어떤 역할을 하고 있을까요?

프로그램

일 시 2024. 4. 8. (월) 14:00 ~ 16:30

장 소 한국고등교육재단빌딩 B3 컨퍼런스홀

개회	환영사
14:00 ~ 14:10	**최병일** 한국고등교육재단 사무총장
발표	**손요환** 고려대학교 환경생태공학부 교수
14:10 ~ 15:55	**김래현** 국립산림과학원 국제산림연구과 연구관
	이수경 다비오 신사업전략그룹 이사
	김정인 중앙대학교 경제학부 명예교수
	오준환 사회적가치연구원(CSES) V-Lab 실장
토론	좌장
15:55 ~ 16:30	**손요환** 고려대학교 환경생태공학부 교수

주 최

한국고등교육재단 CSES 사회적가치연구원 Center for Social value Enhancement Studies CHEY 최종현학술원

2-2.
함께한 연사들

2024. 4. 8. 강연 당일 기준



손요환

고려대학교 환경생태공학부 교수

생태계의 물질 생산과 양분 순환을 연구하는 산림토양학자이자 산림생태학자이다. 고려대학교 학부와 대학원에서 임학을 전공하였고, 미국 Colorado State University에서 산림토양학 석사 학위, University of Wisconsin-Madison에서 산림생태학 박사 학위를 받았다. 1993년부터 고려대학교 교수로 재직 중이며, 한국과학기술한림원 정회원이다.



김래현

국립산림과학원 국제산림연구과 연구관

산림을 기반으로 국내외 기후변화 대응 방안을 만드는 국제전문가이다. 고려대학교 학부와 대학원에서 산림생태학 박사 학위를 받았다. 2009년부터 기후변화협상 정부대표단, UNFCCC 온실가스 인벤토리 산정 및 검토 전문가, IPCC EFDB 위원 등으로 국내외에서 활동 중이며, 최근에는 REDD+ 국외산림 탄소배출 감축체계를 개발 중이다.



이수경

다비오 신사업전략그룹 이사

글로벌 탄소전략 및 ESG 분야 전문가로 자연 기반 솔루션, 기후·기상, 도시·지역개발 지속가능 사업 모델 기획과 사업화를 담당하고 있다. 고려대학교에서 환경복원 및 생태공학 박사 학위를 받았다. 산림청, UN FAO (Food and Agriculture Organization), APEC기후센터, 국가녹색기술연구소, SK임업 등에서 근무하였다.



김정인

중앙대학교 경제학부 명예교수

기후변화와 환경, 에너지 문제를 연구하는 자원환경경제학자이다. 미국 University of Wisconsin-River Falls에서 자원경제학 석사 학위, University of Minnesota에서 환경경제학 박사 학위를 받았다. 2000년부터 중앙대학교 교수로 재직 중이다. 대통령 산하 탄소중립위원회, 국가기후환경회의, 국무총리실 녹색성장위원회 위원을 역임했다.



오준환

사회적가치연구원(CSES) V-Lab 실장

사회적가치를 화폐적으로 측정하는 방법을 개발하고 SK 등 기업의 내용을 검증하는 SV측정 전문가이다. 서울대학교 학부와 대학원에서 경제학을 전공하였고, 미국 University of Michigan에서 MBA 학위를 받고, 중앙대 회계학 박사과정을 수료하였다. 2019년부터 사회적가치 연구원에 재직 중이다.


숲의 가치, 과학으로 보다
기후 변화와 산림
손요환 | 고려대학교 환경생태공학부 교수
기후변화
CSES

CHAPTER

3

강연 톺아보기



3-1.

기후변화와 산림

"인위적으로 배출되는 이산화탄소의 31%를 산림이 흡수"

"기후변화 대응은 자연에 대한 책임의식에서부터 출발해야"

손요환 고려대학교 환경생태공학부 교수



기후변화, 인간과 자연 모두에 위협

기후변화는 우리 생활 전반에 많은 영향을 끼치고 있으며, 지속가능한 사회 발전을 위협하는 주요 요인이 되었다. 기후 위기라는 말이 무색하지 않을 정도의 사례도 점점 늘고 있다. 예를 들어 2019년 고성, 속초 지역에 대형 산불이 일어 큰 피해를 입힌 이래, 강원도 산불이 마치 연례 행사처럼 반복되고 있다. 2022년에는 시간당 140 mm 이상 폭우가 내려 강남역 일대가 물에 잠기는 사건이 발생했다. 최근에는 작황 부진으로 사과 가격이 치솟으면서 금(金)사과, 애플플레이션(appleflation)이라는 신조어까지 등장했다[1].

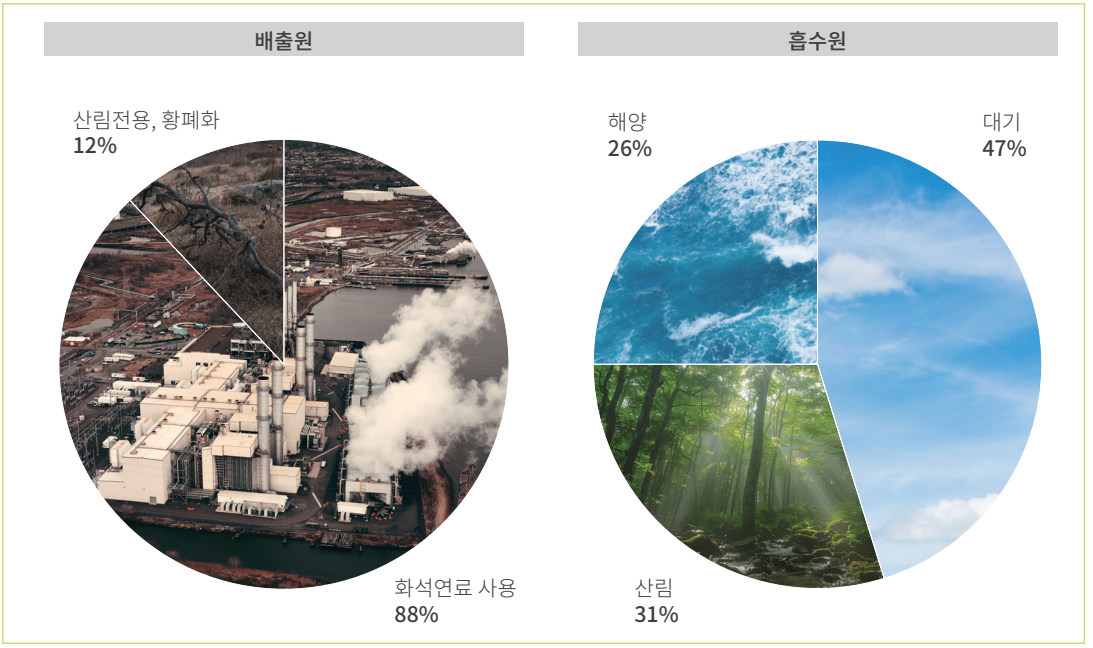
기후변화가 산림에는 어떠한 영향을 미치고 있을까? 대표적으로 산림 분포 변화와 생장 속도 감소, 산림재해 발생 증가를 들 수 있다. 2022년 12월 한 언론 보도에서는 우리나라에서 형질이 우수하다고 꼽히는 금강소나무가 기후변화로 인한 겨울철 건조와 가뭄으로 고사하고 있다는 이야기가 전해졌다[2]. 국립산림과학원에서는 평균 기온이 4℃ 상승할 경우 제주도와 한반도 남해안 일대가 아열대림으로 변할 것이며, 수종을 불문하고 생장 속도가 지속적으로 감소할 것이라는 예측을 내놓았다[3]. 기후변화 시나리오를 적용하면, 2041년 이후에는 산사태로 인한 대형 재해 위협이 증가하고, 2090년대에는 소나무재선충병 피해가 전국적으로 확산할 것이라는 분석도 나온다[4].

자연의 순기능을 살리는 것이 해법이다

지구 기온 상승이 대기 중 이산화탄소(CO_2) 농도 증가와 관련 있다는 것은 과학적으로 입증된 사실이다. 그리고 현재 우리가 겪고 있는 기온 상승은 과거 2천 년 동안 한 번도 일어난 적 없으며, 인간 활동을 배제하고 자연적 요인만으로는 설명할 수 없는 현상이다. 그렇다면 대기에 있는 이산화탄소는 어디에서 오고 어디로 사라지는 것일까? 글로벌카본프로젝트(Global Carbon Project, GCP)가 2013~2022년 10년 동안의 이산화탄소 배출원과 흡수원을 분석한 결과에 따르면, 인위적

1. 방현철, “금사과는 기후변화 대응 시급하다는 경고… AI 농업에서 해법 찾아야”, <조선일보>, 2024년 4월 9일, https://www.chosun.com/economy/economy_general/2024/04/09/U4CGIIIQBBGGXIG3Y7Y3JPRLHM/.
2. 정수아 외, “금강송도 말라간다…죽음 내몰리는 백두대간 침엽수”, <한겨레>, 2022년 12월 17일, https://www.hani.co.kr/arti/society/environment/1071569.
3. 양희문 외, 『제1차 산림 임업 분야 기후변화 영향평가: 종합보고서』, 국립산림과학원, 2023.
4. 이동근, 『한국 기후변화 평가보고서 2020: 기후변화 영향 및 적응』, 환경부, 2020.

으로 배출되는 이산화탄소의 88%가 화석연료 사용에서 기인한다. 배출된 이산화탄소의 약 31%는 산림, 26%는 해양을 통해 흡수되고, 나머지 47%는 대기에 남는다[5](그림 1-1).



| 그림 1-1 | 숲은 인위적으로 배출되는 이산화탄소의 31%를 흡수한다[6]

여기서 주목할 점은 산림과 해양 같은 자연 탄소 흡수원이 기후변화 대응에 중요한 수단이라는 것이다. 적절한 관리를 통해 자연의 탄소 흡수 능력을 증진하면 대기 중 이산화탄소 농도를 줄일 수 있다. 최근 국제사회는 자연 생태계를 보호하고 지속가능하게 활용, 관리, 복원함으로써 자연 본연의 회복력을 되찾고, 이를 통해 기후변화 문제에 유연하게 대처하는 자연기반해법(nature-based solutions, NbS)에 주목하고 있다. 핵심 흡수원인 산림을 활용한 자연기반해법은 크게 세 가지이다. 첫째는 산림 면적을 늘리는 것, 두 번째는 산림 단위 면적당 이산화탄소 흡수 능력을 증진하는 것, 세 번째는 이산화탄소 배출원인 화석연료를 대체할 에너지원으로 산림 바이오매스(biomass)를 이용하는 것이다.

5. Friedlingstein, P. et al., “Global Carbon Budget 2023”, Earth System Science Data, vol. 15, December, 2023, https://essd.copernicus.org/articles/15/5301/2023/.
6. 탄소 순환에 대한 과학적 이해 부족으로 배출원과 흡수원 간 불일치가 발생하는데, 이를 ‘BIM (budget imbalance)’라고 부른다.

‘고령화’에 직면한 한국의 산림, 새로운 전략이 필요한 때

과연 우리나라 산림은 자연기반해법을 실현하기에 적합한 상태일까? 아쉽게도 아직 풀어야 할 과제가 많다. 예를 들어 산림 면적만 해도 1967년 약 670만 ha에서 2015년 약 640만 ha로, 50년 동안 감소세를 보였다[7]. 첨단 제조업 중심으로 급속도 경제 성장과 도시 발전을 이룬 과정에서 숲이 있던 자리에는 공장이나 주택이 들어섰다. 앞으로 산림 면적을 늘리거나 최소한 줄어들지 않게 유지하는 노력이 필요하다. 그게 어렵다면 도시에서 옥외 식물을 심는 등 나무가 자랄 수 있는 다른 공간을 확보하는 대안도 가능하다.

한국 산림의 이산화탄소 흡수량이 지난 2008년 정점을 기록한 이후 꾸준히 감소하고 있다는 연구 결과도 있다. 산림의 탄소 흡수량은 나무 나이와 관계가 있는데, 우리나라 숲은 점점 늙어 가는 중이다. 전문가들은 2020년 10% 수준이었던 51년생 이상의 6영급[8] 나무의 면적 비율이 점차 증가해 2050년에는 70%를 넘을 것으로 전망한다[9]. 나이에 따라 생장 속도가 변하는 현상은 지구상 어떤 생물도 피할 수 없다. 사람도 나무도 예외가 아니다. 우리나라 나무의 경우 보통 20~40년을 기점으로 생장 속도가 급격히 감소한다.

중장기적으로 나무를 심는 데에만 그치지 않고, 잘 가꾸고, 적절히 베어내어 활용하고 다시 심는 순환형 임업이 기후변화 대응책이 될 수 있다[10](그림 1-2). 산림은 탄소를 흡수할 뿐 아니라 고정하는 역할도 한다. 대기로부터 흡수된 이산화탄소는 광합성을 통해 유기물 형태로 목질 내에 저장되는데, 고령림을 수확해 목재로 활용하면 제품 수명이 다할 때까지 탄소를 붙잡아 둘 수 있다. 벌채 부산물로 생기는 산림 바이오매스는 화석연료를 대체하는 에너지원으로 활용하고, 베어낸 자리에 어리고 건강한 나무를 심어 탄소 흡수력을 극대화한다면 우리나라 숲도 고령화 위기를 극복하고 기후변화 완화에 더 기여할 수 있을 것이다.

7. 산림청, 『산림청 50년사』, 2017.
8. 영급(齡級, age class): 수목의 나이를 10년 단위로 구분하여 등급을 매긴 것. 1영급은 1~10년생, 2영급은 11~20년생.
9. 전의찬, 『전의찬의 탄소중립 특강』, 지오북, 2003.
10. 이우균 외, 『산림탄소경영의 과학적 근거』, 지을, 2022.

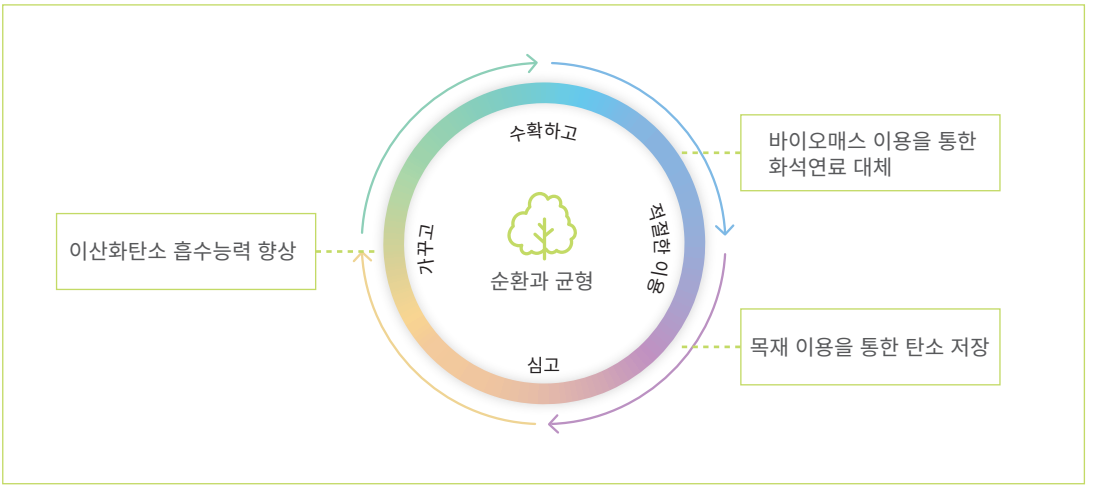


그림 1-2 나무를 심고 가꾸는 것뿐만 아니라, 수확하고 이용하는 순환적 접근이 중요하다

책임의식에 기반한 산림과의 공생

기후변화라는 사회 문제를 해결하기 위해서는 구체적 실행 방법만큼 중요한 것이 목표와 동기이다. 산림을 활용한 자연기반해법은 인류의 생존과 번영, 지속가능성을 목표로 삼아야 하며, 자연에 대한 책임의식(stewardship)에서 출발해야 한다. 더불어 장기적 관점에서 사회가 생태계로부터 원하는 편익을 얻기 위해 자연 본연의 건강성과 기능, 회복력을 복원하고 보호하는 '생태계 기반 관리' 전략이 필요하다. 대표적인 산림 선진국 독일은 '지속가능한 산림을 통해 다양한 산림 생태계 서비스를 개인과 사회에 제공한다'는 목표 아래 2050 산림 전략을 발표하였다[11]. 사회 안에서 인간과 상호작용하는 대상으로서 산림을 바라보는 독일의 관점이 시사하는 바가 크다.

한국의 산림은 지난 50년간 놀라운 변화를 겪었다. 많은 임업인과 국민의 노력으로 국토녹화 성공신화를 이룬 것이다. 그 과정에서 산림 관리 역량도 발전을 거듭하여 세계 곳곳에 선한 영향력을 미치고 있다. 해수의 90%가 증발해 소금 사막으로 변한 중앙아시아 아랄해(Aral Sea) 지역에서 조림과 생태 복원 활동을 펼쳐 사막화 방지에 기여한 사례도 있다[12]. 이제 우리에게는 단순히 나무

11. 김택환, "산림강국 독일에는 '숲 전략 2050'이 있다", <주간조선>, 2023년 10월 27일, https://weekly.chosun.com/news/articleView.html?idxno=29766.
12. 박희윤, "몽골 사막화 방지 이어… 한국 산림기술 아랄해도 되살린다", <서울경제>, 2014년 12월 1일, https://www.sedaily.com/NewsView/1HUD051F89.

를 많이 심는 것 이상의 목표가 생긴 셈이다. 기후 위기 극복과 지속가능성 달성이라는 이 시대의 큰 화두 속에서 한국의 산림이 마주한 새로운 도전 과제와 방향성에 대해 다시 생각해 볼 때이다.

3-2.

국제사회 속의 산림

"파리협정 체제에서는 자연적 탄소 흡수원인 산림의 역할이 중요"

"산림전용과 황폐화를 막아 산림의 흡수원 기능을 되돌리는 노력 절실"

김래현 국립산림과학원 국제산림연구과 연구관



온실가스 감축, 배출과 흡수의 싸움

지구 육지 면적의 1%에 모여 사는 인류는 전체 온실가스의 77%를 배출한다[1]. 인위적으로 발생한 온실가스는 산림과 해양으로 흡수되거나, 대기에 남아 기후변화의 원인이 된다. 기후 위기 대응은 크게 온실가스 배출을 줄이는 방법과 흡수를 늘리는 방법 두 가지로 구분할 수 있다. 물론 어느 한 쪽만으로는 불완전하기 때문에 순배출량을 줄이는 포괄적인 노력이 필요하다. 유엔기후변화협약(UN Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)에서는 배출원(source)을 "대기중으로 온실가스, 그 연무질 또는 전구물질을 방출하는 모든 과정 또는 활동"으로, 흡수원(sink)을 "대기로부터 온실가스, 그 연무질 또는 전구물질을 제거하는 모든 과정·활동 또는 체계"로 정의하고 있다[2].

교토의정서(Kyoto Protocol) 체제까지 국제사회는 온실가스 배출을 줄이는 데에 주력하였으나, 배출과 흡수 간 균형 달성을 강조한 파리협정(Paris Agreement) 채택을 계기로 최근에는 흡수원의 중요성이 부각되는 추세이다. 파리협정 제4조 1항에는 "금세기의 하반기에 온실가스의 배출원에 의한 인위적 배출과 흡수원에 의한 제거 간에 균형을 달성할 수 있도록 한다"라는 정량적인 목표가 쓰여 있다[3]. 또한 배출한 만큼 흡수하는 탄소중립(carbon neutral)을 넘어, 방출한 것보다 더 흡수하는 탄소 역배출(carbon negative) 사회로 나아가기 위해서도 흡수원 확충이 절실하다.

산림의 두 얼굴, 흡수원이자 배출원

최근 생태계 본연의 회복력을 되찾아 기후변화에 유연하게 대처하자는 자연기반해법(nature-based solutions, NbS)이 주목을 받으면서, 자연계에 존재하는 핵심 탄소 흡수원인 산림을 잘 관리해야 한다는 전문가들의 목소리가 높아졌다. UNFCCC 사무총장을 6년간 역임하며 파리협약 체결을 성공적으로 이끈 크리스티나 피게레스(Christina Figueres)는 "기후변화 대응에 있어 나무

1. 김한솔, "고작 육지 1%에 모여 사는 인류, 온실가스는 전체의 77%나 배출", <경향신문>, 2019년 10월 29일, https://www.khan.co.kr/environment/environment-general/article/201910292217005.
2. 법제처, 『기후변화에 관한 국제연합 기본협약(United Nations Framework Convention on Climate Change)』, 1992년 3월 21일.
3. 법제처, 『파리협정(Paris Agreement)』, 2016년 12월 3일.

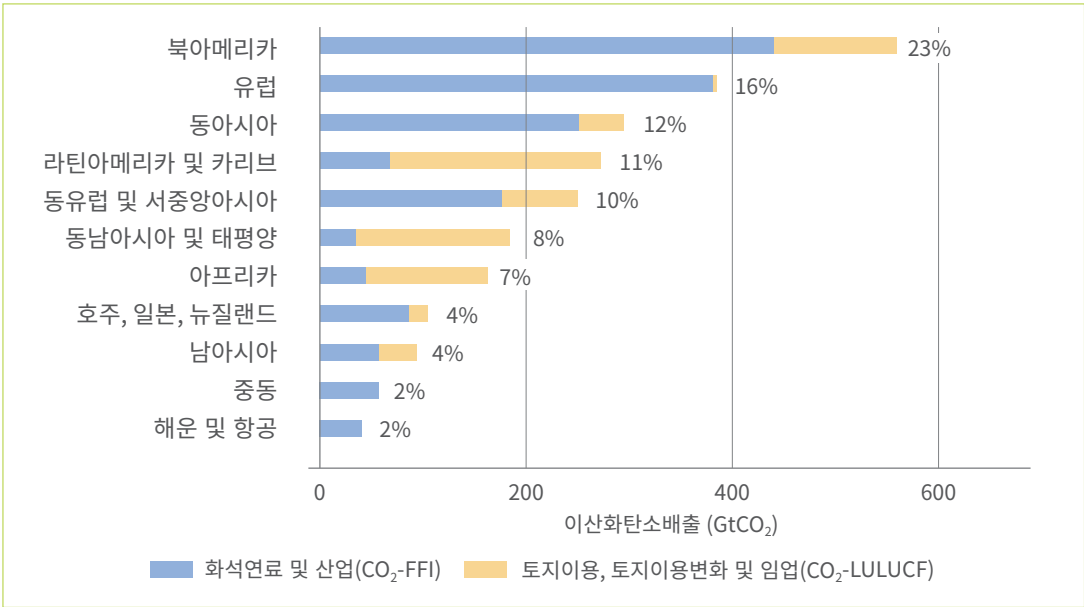
를 심는 것만큼 중요하고, 긴급하면서 간단한 행동은 거의 없다"라고 피력한 바 있다[4]. 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)도 제6차 평가보고서(Sixth Assessment Report, AR6) 제3실무그룹(Working Group 3, WG3) 보고서를 통해 자연 기반 흡수원의 감축 잠재력을 높게 평가하고, 신규조림(afforestation), 재조림(reforestataion), 산림경영 개선(improved forest management) 등을 이산화탄소제거(carbon dioxide removal, CDR) 활동으로 규정하였다[5].

그렇다면 현재 산림은 흡수원 기능을 잘 수행하고 있을까? 아쉽게도 우리가 처한 현실이 그리 단순하지 않다. 잘 관리된 산림은 안전하고 강력한 자연적 흡수원이지만, 파괴된 산림은 오히려 온실가스를 배출한다. 농업, 산림 및 기타 토지이용(agriculture, forestry and other land use, AFOLU) 분야는 전 세계 온실가스 배출량의 22%를 차지하며[6], 그중 산림전용(deforestation)과 황폐화(degradation)로 인한 배출량만 따져도 전체의 11%에 달한다[7]. 이처럼 산림은 흡수원이자 배출원이라는 다소 복잡한 지위를 가지고 있다.

산림이 흡수원 기능을 상실하고 배출원으로 전락한 사례는 선진국보다 개발도상국에서 특히 두드러진다. 인위적으로 발생한 이산화탄소의 누적 배출량 분석 결과(그림 2-1), 라틴 아메리카와 카리브, 동남아시아와 태평양, 아프리카 지역의 경우 농업과 산림 관련 부문(land use, land use change, and forestry, LULUCF)이 차지하는 비중이 무려 80~90% 수준이었다[8]. LULUCF가 화석연료 및 산업 부문(fossil fuel and industry, FFI)보다 더 강력한 이산화탄소 배출원이었다는 사실이 놀라울 따름이다.

여기에는 뼈아픈 경제 논리와 일관성 없는 정책이 한몫한다. 예를 들어 2019년 브라질 전역에 걸쳐 대규모 산불이 발생했는데, 축산 목적으로 행해진 무분별한 산림전용이 그 원인이라는 분석이

4. Figueres, C. et al., *The Future We Choose: Surviving the Climate Crisis*, Alfred A. Knopf, 2020.
5. Shukla, P. et al., "Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", IPCC, 2022, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/.
6. Shukla, P. et al., op. cit.
7. Masson-Delmotte, V. et al., "Climate Change and Land", IPCC, 2019.
8. Shukla, P. et al., op. cit.



| 그림 2-1 | 인위적으로 발생하는 이산화탄소의 누적 배출량 (1850~2019년)

제기됐다[9]. 소고기 수출량을 늘리기 위해 목축지를 확보하는 과정에서 아마존 열대우림에 불을 지른 것이 큰 화재로 번졌다는 것이다. 당시 브라질 대통령은 '남미의 트럼프'로 불리던 자이르 보우소나루(Jair Messias Bolsonaro)였다. 그는 환경 규제 조치를 대폭 완화하는 개발 중심 정책으로 아마존 산림 파괴를 가속화했다는 비판을 받고 있다. 실제로 보우소나루 대통령 재임 시절 브라질의 산림은 면적이 줄면서 이전보다 더 많은 이산화탄소를 배출했다[10].

개도국 산림을 되살리는 국제적 노력

상황이 이러하니 UNFCCC 차원에서도 개도국의 산림 문제를 해결하기 위해 오랫동안 고민해왔다. 그리고 대응책으로 개발한 것이 'REDD+[11]'라는 국제 협력 체계이다. 선진국의 재정 지원을 통해 개도국에게 감축 실적에 비례하는 경제적 보상을 주자는 취지를 담고 있다. 2005년부터 관련 논의가

9. Mackintosh, E., "The Amazon is burning because the world eats so much meat", <CNN>, August 23, 2019, https://edition.cnn.com/2019/08/23/americas/brazil-beef-amazon-rainforest-fire-intl/index.html.
10. 이근영, "브라질 아마존, 지구 허파에서 CO_2 굴뚝으로 변하다" <한겨레>, 2021년 5월 3일, https://www.hani.co.kr/arti/PRINT/993591.html.

시작되어, 2013년에는 UNFCCC가 직접 운영하면서 국가 단위로 온실가스 감축 실적을 검증하는 바르샤바 REDD+ 프레임워크(Warsaw Framework for REDD+, WFR)가 출범했다. 그동안 WFR을 통해 얻은 성과는 꽤 고무적이다. 2023년 말까지 60개 개도국의 참여를 이끌었고, UNFCCC로부터 실적을 인정받은 17개국의 누적 감축량만 더해도 116억 tCO_2e[12]이다[13]. 이는 연 단위로 환산하면 한국의 최근 연간 배출량(약 7억 tCO_2e)을 상회하는 감축 성과이다.

기후변화 대응에서 산림이 중요한 수단이라는 인식이 확산하면서 2015년 채택된 파리협정에는 REDD+ 활동을 독려하는 내용이 개별 조항(제5조)으로 포함됐다. 2021년 글래스고에서 열린 제26차 UNFCCC 당사국총회(Conference of the Parties, COP)에서는 144개국 정상들이 2030년까지 산림 손실과 토지 황폐화를 막고, 복원을 위해 협력하기로 선언했다. 이렇게 국제적 연대가 가능한 이유는 산림에서의 다양한 활동이 개도국과 선진국 모두에게 실익을 줄 가능성이 열렸기 때문이기도 하다. 다르게 표현하면, UNFCCC에서 지금까지 합의된 내용에는 여러 당사국의 복잡한 이해관계가 반영되어 있다. 파리협정 세부이행규칙(Paris Rulebook) 협상 과정에서 REDD+ 참여로 선진국이 얻을 수 있는 이익도 점점 구체화되었다. 한 가지 예로, 2021년 이후 발생한 개도국 내 REDD+ 성과를 국외 감축 실적(internationally transferred mitigation outcomes, ITMOs)으로 이전해 올 수 있다[14,15].

한편 자발적 탄소시장(voluntary carbon market, VCM)을 포함하여, WFR 영역 밖에 있는 REDD+ 사업도 있다[16]. VCM에서 REDD+는 민간 주도로, 국가가 아니라 크고 작은 프로젝트(project) 단위로 운영되며, 주로 기업들이 ESG (environmental, social, and governance) 경영 실현이나 탄

11. Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation (REDD) and the role of conservation, sustainable management of forests, and enhancement of forest carbon stocks in developing countries. 개도국의 산림전용과 황폐화 방지뿐 아니라, 산림 보존, 지속가능한 산림경영, 산림 탄소축적 증진을 통해 온실가스 배출을 줄이는 활동. (출처: 김래현 외, 『2023 쉽게 이해하는 REDD+ 설명집』, 산림청, 2022년 12월.)
12. CO_2e (carbon dioxide equivalent): 온실가스 배출량을 등가의 이산화탄소 양으로 환산한 수치.
13. UN Climate Change Secretariat, "The 10-year anniversary of the Warsaw Framework for REDD+", December 9, 2023, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Presentation-on-REDD-status_UNFCCC.pdf.
14. 장은혜, 『REDD+ 활성화 및 체계적 이행을 위한 법제 연구』, 한국법제연구원, 2022년 10월 17일, https://klri.re.kr/kor/publication/2098/view.do.
15. 송민경 외, 『파리협정 제6조와 산림 이해하기: 6.2조와 REDD+』, 국립산림과학원, 2023년 10월, https://www.korea.kr/archive/expDocView.do?docId=40718.
16. Wyburd, I., "REDD+ FAQ: Explaining the ins and outs of forestry climate projects", Carbon Market Watch, November 9, 2023, https://carbonmarketwatch.org/2023/11/09/redd-faq/.

소 배출권 거래를 목적으로 참여한다. 또한 UNFCCC가 아닌 베라(Verra) 같은 민간 기관이 감축 실적을 인증하고, 거래 가능한 탄소배출권을 발행한다. REDD+라는 같은 용어를 쓰지만, WFR과 VCM에서 인정하는 활동 범위와 실적 인증 기준 및 절차가 서로 달라 혼란을 주는 면도 있다[17]. 이 외에도 재원 확보나 감축 실적 활용 방식 등에서 비시장적, 시장적 요소가 복잡하게 얽혀 있는 것이 지금의 REDD+ 모습이다. 산림의 흡수원 기능 회복이라는 목표에 보다 효율적으로 다가갈 수 있도록 REDD+ 구성 요소 간 시너지를 극대화하는 노력이 필요해 보인다.

한국의 산림 리더십, 첨단 기술로 날개를 달다

IPCC 제6차 평가보고서(AR6) 종합보고서(Synthesis Report)는 우리나라에게 특별한 의미가 있다. 구례의 숲을 찍은 정진실 작가의 작품 '새벽을 여는 안개'가 표지를 장식했기 때문이다(그림 2-2). 한국의 산림을 담은 사진이 전 세계 기후변화 대응 전략의 표준을 제시하는 중요한 보고서의 얼굴이 된 배경이 무엇일까? IPCC 제6차 평가주기를 성공적으로 이끈 이회성 의장의 노고가 영향을 미친 것이 분명하며, 이와 함께 지난 50년간 우리가 이룬 국토녹화 성과 역사, 그 과정에서 축적한 산림 관리 역량에 대한 국제사회의 인정 없이는 불가능했을 것이다.

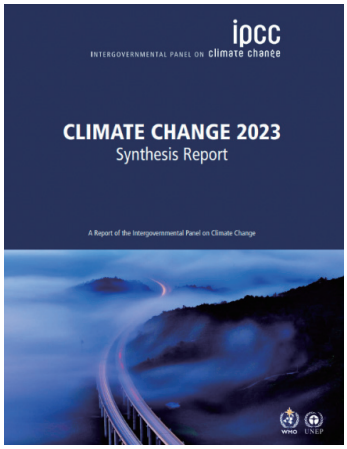


그림 2-2 | IPCC 제6차 평가보고서 종합보고서 표지(출처=IPCC, https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/)

17. 김오윤, "[기후상식 4편] 산림분야의 기후변화대응사업 REDD", <나무신문>, 2023년 8월 31일, https://www.imwood.co.kr/news/articleView.html?idxno=30585.

오늘날 한국은 국경을 넘어 더 넓은 무대에서 산림 리더십을 발휘하고 있다. 한 가지 예로, 아시아산림협력기구(Asian Forest Cooperation Organization, AFoCO)는 2018년 한국 주도로 출범한 국제 기구이다. 아시아 지역 16개 국가가 협력하여 산림 보전 및 복원, 산림 황폐화 저지, 산림 분야 전문 인력 양성 활동을 펼치고 있으며[18], 최근에는 산림 분야 국제 기구로는 유일하게 UN 총회에 참석할 수 있는 옵서버(observer) 지위를 획득했다[19]. 한국은 앞서 2011년에는 아시아 국가 최초로 유엔사막화방지협약(United Nations Convention to Combat Desertification, UNCCD) 당사국 총회를 개최하면서, 개최 도시명을 딴 '창원이니셔티브'를 제안하였다. 당사국들의 지지에 힘입어 창원이니셔티브는 개도국의 토지 황폐화를 개선하는 데 실질적인 성과를 냈다는 평을 받는다[20].

특히 한국은 뛰어난 정보통신기술을 바탕으로, 관측, 예방, 예보, 진화, 사후 복원까지 통합 관리하는 산불 대응 체계를 갖추고 있다. 개도국뿐 아니라 선진국에서도 관심을 보이며 지원을 요청할 만큼 세계적인 수준이다. 2023년 캐나다에 대형 산불이 발생했을 때 우리나라 산림청이 열화상 드론을 활용하여 진화 작업을 도운 적도 있다[21]. 2025년에는 국내 최초 산림 모니터링 전용 위성이 발사될 예정이다. 5미터급 공간해상도를 가진 이 위성은 지구 저궤도를 돌며 3일이면 한반도 전체를 촬영할 수 있다[22]. 해외 위성 영상에 의존하던 기존 방식에 비해 영상 확보 비용과 분석 기간을 대폭 줄여줄 것으로 기대를 모으고 있다.

회복의 기적, 또 볼 수 있기를

오늘날 이산화탄소가 기후변화의 주범으로 전 세계의 걱정거리이듯, 1980년대에는 염화불화탄소(chlorofluorocarbon, CFC), 일명 '프레온(Freon) 가스'가 두려움의 대상이었다. 에어컨이나 냉

18. AFoCO, "Project Portfolio", https://afocosec.org/programs-projects/project-portfolio/.
19. 김희원, "한국 주도 아시아산림협력기구, UN 옵서버 지위 획득", <세계일보>, 2020년 12월 16일, https://www.segye.com/newsView/20201216504186.
20. 박희윤, "창원이니셔티브, 기후변화 대응 핵심으로 거듭난다", <서울경제>, 2023년 2월 13일, https://www.sedaily.com/NewsView/29LQGHJWP0.
21. 김준호, "산림청 산불진화대, 캐나다서 한 달간 261ha 진화…"임무 완수"", <연합뉴스>, 2023년 8월 5일, https://www.yna.co.kr/view/AKR20230805020700063.
22. 박윤석, "'25년 발사 '농림위성', 한반도 산림 촘촘히 본다", <에코타임스>, 2024년 3월 29일, https://www.ecotiger.co.kr/news/articleView.html?idxno=46615.

장고의 냉매, 스프레이 제품에 쓰이던 CFC가 성층권의 오존층을 파괴한다는 사실이 밝혀졌기 때문이다. 자외선으로부터 지구를 보호하는 오존층에 구멍이 뚫리면 자연 생태계가 심각한 타격을 입을 수밖에 없다. 이에 국제사회는 1987년 오존층 파괴 물질 사용을 금지, 규제하는 몬트리올의 정서(Montreal Protocol)를 채택하고 오존층 회복에 힘써왔다. 다행히 그 결실이 드러나는 중이다. 2023년 UN은 2040년까지 전 세계 대부분 지역에서 오존층이 1980년 수준으로 회복될 것이라는 전망을 내놓았다[23].

기후변화 대응을 위한 다양한 노력도 훗날 이처럼 과학적으로 측정 가능한 결과를 만들 수 있을까? 현재 파리협정에는 무려 200여개 국가가 참여하고 있다. 과거 어느 때보다도 기후변화 극복에 대한 국제적 연대와 의지가 강한 상태이다. 탄소중립 목표를 향해 몇 십년 동안 힘을 모은다면, 오존층을 통해 확인한 회복의 기적을 또 한 번 기대할 수 있을 것이다.

23. 이현택, “유엔 “오존층, 서서히 회복 중… 2040년까지 1980년 수준으로””, <조선일보>, 2023년 1월 11일, https://www.chosun.com/international/international_general/2023/01/10/NJYR7GE32ZALZPFOOBA3KEDGBE/.

3-3.

AI, DT, 빅데이터 기반 산림 관리 기술

“한국은 성공적인 국토녹화 경험을 바탕으로 첨단 산림 관리 기술을 발전시키기 좋은 환경”

“노트북 한 대만 있으면 전 세계 산림 영상을 AI 기술로 분석할 수 있어”

이수경 다비오 신사업전략그룹 이사



기후변화 시대, 과학적 소통이 필요한 이유

ESG (environmental, social, and governance) 정보 공시 의무화 추세가 전 세계적으로 확산하면서, 기후변화 대응은 이제 국가 차원에서뿐 아니라 민간 기업에게도 중요한 과제가 되었다. 한국 안에서는 2025년부터 자산 2조 원 이상, 2030년부터 모든 코스피 상장사를 대상으로 ESG 공시 의무화를 추진하려는 움직임이 있다[1]. 기업지배구조보고서 공시 제도는 이보다 앞서 이미 시행 중이다. 2019년부터 자산 2조 원 이상, 2023년부터 1조 원 이상, 2024년부터 5천억 원 이상 코스피 상장 기업이 의무 대상이 되었으며, 2026년에는 자산 규모와 상관없이 전 코스피 상장사에 확대할 예정이다[2]. 한국 밖의 분위기도 다르지 않다. 유럽연합(European Union, EU), 일본, 미국, 캐나다 등 세계 각국에서 ESG 공시 기준과 관련 법제 마련에 박차를 가하고 있다[3].

국제적으로 공인된 탄소 흡수원인 산림을 보호하는 정책도 기업 경영에 변수로 떠오른다. EU는 2023년 산림전용방지규정(European Union Deforestation-Free Products Regulation, EUDR)을 제정하고, 2024년 12월 30일부터 EU 시장에서 거래되는 특정 상품[4]에 대하여 산림 벌채, 산림 황폐화, 법적 규정을 준수하지 않는 수확 및 거래와 관련 없음을 입증해야 하는 의무를 부과할 예정이다[5]. EUDR이 시행되면 축산업이나 목재 산업, 기타 산림 관련 2차 산업 전반에 직격탄이 예상된다. EU의 주요 교역국인 우리나라도 기업과 정부가 머리를 맞대고 대응책을 논의해야 하는 상황에 놓였다.

ESG 공시나 EUDR에서 중요한 것은 기후변화 대응 활동을 객관적으로 증명하는 자료이다. 미국 증권거래위원회(Securities and Exchange Commission, SEC)의 ESG 의무 공시 조건을 만족하려면 기업이 직간접적으로 배출하는 온실가스 양을 밝혀야 하고[6], EUDR은 산림 관련 위성 정

1. 박윤구, “자산 2조 넘는 기업, 2025년 ESG보고서 공개 의무”, <매일경제>, 2022년 11월 16일, https://www.mk.co.kr/news/business/10533808.
2. 유희곤, “기업지배구조보고서 공시대상 확대된다”, <경향신문>, 2023년 10월 12일, https://www.khan.co.kr/economy/finance/article/202310121633001.
3. 임호동, “주요국, 지속가능성 공시 법제화 중…국내기업 선제적 대응 필요”, <그린포스트코리아>, 2024년 4월 17일, https://www.greenpostkorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=217202.
4. 소(cattle), 코코아(cocoa), 커피(coffee), 팜유(oil palm), 고무(rubber), 대두(soya), 목재(wood) 등 7개 품목과 여기에서 파생한 제품.
5. 김연지, “EU 삼림벌채규정 놓고 갑론을박…연내 시행 물 건너 가나”, <ESG경제>, 2024년 6월 28일, https://www.esgeconomy.com/news/articleView.html?idxno=6942.

보를 요구한다[7]. 예컨대 커피를 EU에 수출하는 사업자는 커피 재배 농장의 위성항법장치(global positioning system, GPS) 좌표와 위성 실사 사진으로, 그 지역이 산림 파괴와 관련 없음을 보여야 한다. 온실가스 감축이든, 산림 보전이든 기업과 투자자, 고객, 규제 당국 모두가 납득할 만한 정보를 만드는 것이 앞으로 더 중요해질 전망이다. 결국 과학적 방법론에 기대는 수밖에 없다.

산림 가치 정량화, 어렵지만 풀어야 할 숙제

모든 기후변화 대응 활동을 수치로 정확하게 표현할 수 있다면 좋겠지만, 아직 넘어야 할 산이 많다. 일례로, 산림의 탄소 흡수량과 배출량을 측정하는 방법도 완벽한 상태가 아니다. 현재 세계 각국은 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 2006년 지침을 따르고 있다. 산림 생장량, 목재기본밀도와 뿌리-지상부 비율 같은 수종별 계수, 산림 분포를 고려한 수종별 가중치 등을 종합적으로 적용하여 연간 흡수·배출량을 산정한다[8]. 여기서 각종 계수는 절댓값이 아니라 국가별로 연구해서 개발하고, 꾸준히 개선해야 하는 요소이다. IPCC가 기본 계수를 제공하긴 하나, 국가고유 계수를 통해 산출한 정보가 신뢰성이 더 높다. 데이터가 쌓이고 분석 기술이 발전하면 탄소 흡수·방출량을 포함하여 산림의 가치를 숫자로 보여주는 다양한 정량 지표를 보다 빠르고 정확하게 얻을 수 있다.

산림 가치를 정량화하는 기술은 자발적 탄소시장(voluntary carbon market, VCM)의 골칫거리인 그린워싱(greenwashing)[9] 문제 극복 차원에서도 중요하다. 다양한 탄소 감축 수단 중에서 산림이 유독 그린워싱 논란의 중심에 선 배경이 무엇일까? 온실가스를 직접 감축하는 대신 돈으로 탄소 배출권을 사서 친환경 이미지를 손쉽게 얻고자 하는 기업은 분명 문제이다. 하지만 다른 측면에서는, 감축 실적이 부풀려질 수 있는 불완전한 배출권 산정 방식과 검증 체계를 보완해야 한다는 목소리도 크다. 기술 고도화로 온실가스 감축량과 배출권 품질을 투명하게 판단할 수 있는

6. 신승국 외, “美 SEC, 기후공시 의무화 규정 확정”, <법률신문>, 2024년 3월 20일, https://www.lawtimes.co.kr/LawFirm-NewsLetter/196926.
7. 유미지, “EU, 삼림벌채법 연기 거부…올해 시행 밀고 나가나?”, <임팩트온>, 2024년 7월 8일, https://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=11981.
8. 온실가스종합정보센터, 『2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서』, 2022년 12월.
9. 친환경(green)과 눈속임(whitewashing)의 합성어. 실질적으로는 친환경적이지 않지만 겉으로는 환경 보호에 기여하는 것처럼 홍보하여 이익을 얻는 활동.

과학적 기반이 마련된다면, 시장의 불신을 회복하고 진정성 있는 산림 활동이 오해에서 벗어나는 데 도움을 줄 것이다.

인공위성과 AI의 만남, 산림 분석의 새 지평을 열다

산림은 광범위하게 분포한 탄소 흡수원이다. 산림의 흡수원 기능을 백분 활용하기 위해서는 나무 한 그루가 아닌 전 지구적 차원의 접근이 필요하다. 세계적으로 연간 3천 대에 육박하는 위성이 발사되는 오늘날[10], 위성 인프라는 분명 산림을 효율적으로 관찰하고 관리하는 새로운 기회를 제공하고 있다. 물론, 위성 촬영만으로는 부족하다. 세계 곳곳에서 실시간으로 쏟아지는 위성 데이터를 빠르게 분석하여 의미 있는 정보를 만들어 내는 과정이 남아있다. 다행히 최근 급성장한 인공지능(artificial intelligence, AI) 기술이 돌파구를 마련해주었다.

위성 영상과 AI의 만남으로 산림 분야의 새 지평이 열리고 있다. 위성 정보는 공간의 한계를, AI 기술은 시간의 한계를 극복하게 한다. 물리적 한계를 넘어 산림 생장 정보, 건강 상태 등 광범위한 데이터를 빠르게 분석하는 시대가 온 것이다. 시계열 분석(time-series analysis)[11]을 통해, 과거로부터 현재까지 산림의 변화 추세를 파악하고 미래 모습을 예측할 수도 있다. 또한 다른 분야에서 수집한 빅데이터와 연계하여, 산업, 경제, 사회, 정치 등 산림 외적 요소와 산림의 상호작용을 분석하는 것도 가능하다.

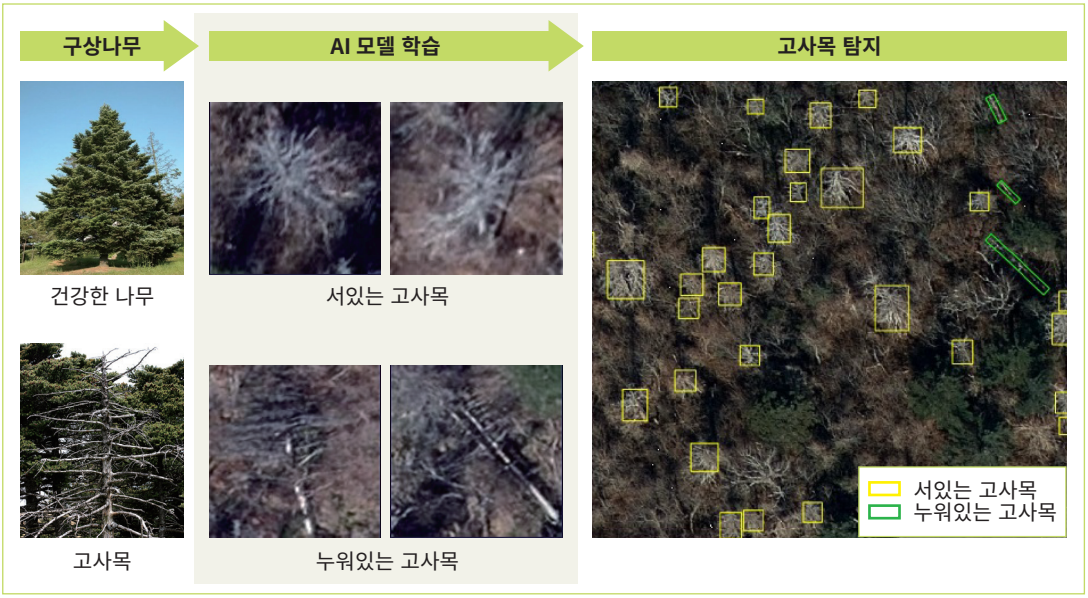
첨단 산림 분석, 나무 한 그루까지 자세하게

첨단 산림 관측 기술은 어디까지 발전했을까? 공간 분석 전문 스타트업 다비오(Dabeeo)의 사례를 몇 가지 소개해보고자 한다. 다비오는 전 세계 위성 영상 서비스 기업으로부터 산림 빅데이터를 수집한 후, 여기에 한국 연구진의 기술력을 더해 산림 분석용 AI 모델을 개발하고 있다. 객체 탐

10. 박시수, “2023년 우주, 민간기업의 활약이 두드러졌다”, <산경투데이>, 2024년 1월 6일, https://www.sankyungtoday.com/news/articleView.html?idxno=44491.
11. 일정 간격의 시간순으로 관측한 데이터로부터 여러 변수 간 인과관계를 찾고, 과거 관측값을 바탕으로 미래 관측값을 예측하는 분석법.

지(object detection), 영상 분할(image segmentation), 3D 재구성(reconstruction), 변화 탐지(change detection), 초해상화(super resolution) 등 5가지 기술을 유기적으로 연결하면, 현실 세계에서 얻은 아날로그(analog) 정보를 바탕으로 가상 세계에서 디지털 지구(digital earth)를 구현할 수 있다.

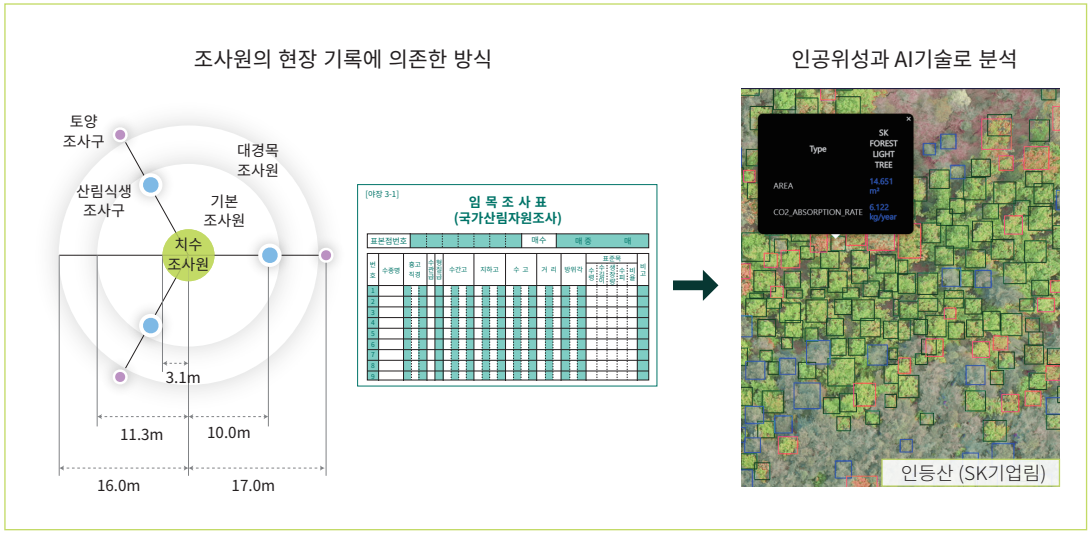
첫 번째로, 멸종 위기에 처한 구상나무(Korean fir)의 식생 변화를 관측한 사례가 있다(그림 3-1). 구상나무는 '*Abies koreana*'라는 학명에서 짐작할 수 있듯이 세계에서 유일하게 한국에서만 자생하는 나무이다. 한반도 남부 높은 고도에 분포하는 상록침엽수로, 기후변화에 취약한 편이라 최근 집단으로 말라죽는 사례가 발견되고 있다[12]. 다비오는 국내 7대 국립공원을 대상으로 구상나무 고사목 실태를 조사했는데, 총 분석 면적이 100 km^2에 달한다. 지리산의 경우, 인간 전문가가 육안으로 하면 1년이 걸리는 고사목 전수 조사를 고해상도 항공 영상과 심층학습(deep learning) AI 기술로 단 이틀만에 완수, 약 41 km^2 면적에서 고사목 54,781 그루를 자동으로 검출했다. 항공 영상을 활용하면 급경사지처럼 사람이 접근하기 어려운 지역도 얼마든지 조사할 수 있다는 장점이 있다.



| 그림 3-1 | 항공 영상과 AI를 활용한 구상나무 고사목 탐지

12. 서재철, "멸종위기 구상나무, 씨앗부터 묘목까지 '애지중지'", <한겨레>, 2023년 12월 24일, https://www.hani.co.kr/arti/society/environment/1121566.html.

위성 영상으로 산림 탄소 흡수량을 계산한 사례도 있다(그림 3-2). 충주에 있는 인등산은 SK그룹의 기업림으로, 1970년대 초반까지 민둥산이었으나 50년 넘는 조림 사업 결과 울창한 숲으로 거듭났다. 그렇다면 탄소 흡수원으로서 인등산이 가지는 얼마일까? 앞서 설명했듯이 이 질문에 대한 답을 구하는 과정은 결코 간단치 않다. 현재 우리나라는 국가산림자원조사(National Forest Inventory, NFI)[13] 등으로부터 수집한 정보에 IPCC 지침을 적용하여 산림의 탄소 흡수량을 계산하고 있다. NFI는 기본적으로 조사원이 표본 지역에 나가 나무 종류, 위치, 치수, 결함 여부, 고사목 분포 등을 직접 관찰하는 방식으로 이루어진다[14]. 많은 인력과 시간이 들어갈 수밖에 없고, 수기 작성에 의존하다 보니 오류가 발생하기도 한다. 최근에는 라이다(light detection and ranging, LiDAR)[15] 같은 첨단 장비를 접목하고 데이터 취합을 자동화하여 조사의 효율성과 정확도를 높이려는 노력이 활발하다[16]. 나아가 위성과 AI를 활용하는 방안도 연구 중에 있다. 위성 영상의 분광값에만 의존하여 인등산의 탄소 흡수 가치를 계산해 보면, 표본 면적 14,651m²에서 연간 6.122kg의 이산화탄소를 흡수 가능한 것으로 분석된다. 매우 초기 단계의 연구 결과이긴 하나, 추후 국가산림자원조사 체계에 따른 현장 조사 및 IPCC 방법론에 따른 계산 과정의 정확도 검증 등 기술 고도화를 통해 보완할 수 있으리라 기대한다.



| 그림 3-2 | 산림 가치 정량화 기술의 발전

13. 전국 산림을 조사·평가하여 산림정책의 근간이 되는 산림기본통계 기초자료 확보 및 산림 생태계 건강성 평가를 위하여 실시하는 국가 조사. 1964년 UNDP/FAO 지원사업으로 최초의 산림자원조사를 실행하였고, 제6차 국가산림자원조사('11~'15)부터 모니터링 체제로 전환, 현재 제8차가 진행 중이다. (출처: 산림청)
14. 산림청 정보통계담당관실, 『제8차 국가산림자원조사 및 산림의 건강·활력도 현지조사지침서』, 2021년 3월.

한국, 국토녹화를 넘어 국제사회 리더십을 향해

위성 촬영과 AI 모델 발달로 이제 노트북 한 대만 있으면 전 세계 산림 빅데이터를 실시간으로 분석할 수 있는 시대가 왔다. 특히 한국은 뛰어난 정보통신기술 인프라를 기반으로 첨단 산림 관리 기술을 발전시키기 좋은 환경이다. 인터넷 속도도 세계 최고이고, 좀 더 기술적으로는 첨단 AI 모델링 및 의사 결정, AI 학습 관련 인프라 기술 분야에서 잠재력이 우수하다는 평가를 받는다[17]. 게다가 우리나라는 국토녹화 성공이라는 값진 경험을 가진 나라다. 지난 50년 동안의 성공적인 조림 사업 성과를 인정받아, 국제사회는 산림의 가치와 활용을 논할 때 우리나라 사례를 아주 중요하게 인식하고 있다. 국토녹화 과정에서 축적한 풍부한 데이터는 AI 모델 학습에 유용하게 쓰이기도 한다. 국토녹화 성공 경험과 과학기술 인프라라는 강점을 무기로, 산림 분야에서 우리나라의 국제적 영향력이 점점 확대해 나가길 기대한다. 우리나라를 넘어 개발도상국의 산림 보전에 기여하며, 전 세계 산림 자원 가치를 높이는 활동을 이어간다면 탄소중립을 실현하는 데 있어서 국제적 리더십을 발휘할 수 있을 것이다.

15. 레이저 빛이 표면에서 반사되어 돌아오는 시간으로 표적 물체까지의 거리를 측정하는 장비. 자율주행 자동차에서는 핵심 센서 역할을 담당한다.
16. 허재구, “국가산림조사에 ‘라이다’ 등 첨단과학기술 접목하니 ‘정확·효율성’↑”, <머니투데이>, 2023년 10월 31일, https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2023103110234554551.
17. 이희권 외, 『2022년 기술수준평가(2차년도)』, 한국과학기술기획평가원, 2022년 12월.

3-4.

탄소시장과 산림의 경제적 가치

"탄소경제 시대는 이미 도래"

"산림 활용 증대, 탄소시장 활성화를 위한 기금 조성과 제도 마련이 시급"

김정인 중앙대학교 경제학부 명예교수



기후 위기 속 불투명한 탄소중립 시나리오

전 세계는 지금 '2050 탄소중립' 달성을 위해 박차를 가하는 중이다. 파리협정(Paris Agreement) 본문에는 지구의 평균 온도 상승을 산업화 이전 대비 2°C 보다 상당히 낮은 수준으로 유지하고, 1.5°C 이하로 제한하기 위해 노력해야 한다고 적혀 있다[1]. 국제 협약에서 기후변화 관련 온도 목표치를 명시한 최초의 사례이다. 여기서 1.5°C는 기후변화로 인한 재앙을 피하기 위한 마지노선이다. 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)가 『지구온난화 1.5°C 특별보고서』를 통해 2050년까지 세계 탄소 순배출량이 0이 되어야 한다고 권고한 것이 2050 탄소중립 목표의 근거가 되었다[2]. 2100년까지 지구 평균 온도 상승폭을 1.5°C 이내로 억제하기 위해 계산한 결과이다.

파리협정 체제에서 각국 정부는 스스로 정한 온실가스 감축 목표, 즉 국가결정기여(nationally determined contribution, NDC)를 5년마다 갱신하면서 실효성 있는 활동을 이행해 나가야 한다. 강제성이 아니라 자발성을 강조한 파리협정 기조에 따라, 참여 당사국(party)은 탄소중립 목표 연도와 NDC의 단계별 이행 계획을 자율적으로 결정하여 공표해 왔다. 우리나라는 세계에서 14번째로 탄소중립 목표를 법제화한 국가로서, 2030년까지 2018년 온실가스 배출량 대비 40%를 감축하고, 2050년까지 탄소중립을 이루겠다고 선언한 상태이다[3].

그렇다면 국제사회가 그토록 염원하는 2050 탄소중립이 정말 가능할까? 걱정스럽게도 NDC 상향이나 추가적인 방법 없이는 불가능해 보인다. 1차 감축 시점인 2030년만 봐도, NDC를 선언한 모든 국가가 목표치를 달성한다고 해도 여전히 19~22 $GtCO_2e$[4]이 부족하다[5]. 시간은 우리를 기다려주지 않을 것이다. 2000~2019년 사이에만 폭염, 산불, 홍수, 한파 등 기후변화로 발생한 자연재해

1. 법제처, 『파리협정(Paris Agreement)』, 2016년 12월 3일.
2. 기상청, 『지구온난화 1.5°C 특별보고서』, 2019년 3월 5일.
3. 환경부, "탄소중립 비전과 온실가스 감축 의지 법제화, 2050 탄소중립 사회로 나아갑니다", 2022년 3월 22일, https://www.2050cnc.go.kr/base/board/read?boardManagementNo=3&boardNo=631&menuLevel=2&menuNo=16.
4. CO_2e (carbon dioxide equivalent): 온실가스 배출량을 등가의 이산화탄소 양으로 환산한 수치. 1 Gt (gigaton, 기가톤) = 109 톤(ton).
5. Geiges, A. et al., "Warming Projections Global Update", Climate Action Tracker, December, 2023, https://climateactiontracker.org/documents/1187/CAT_2023-12-05_GlobalUpdate_COP28.pdf.

가 7,348건, 피해액이 2조 9,700억 달러에 달한다[6]. 더 큰 문제는 기후 재난으로 인한 인명 및 경제적 피해가 계속 증가할 것이라는 점이다. 2050년 기후 난민 수가 최대 10억 명에 이를 것이란 전망도 있다[7]. 인류의 지속가능성을 확보하고, 천문학적인 경제 손실을 막기 위해 보다 구체적이고 현실적인 돌파구가 절실하다.

경제 논리로 탄소중립에 접근하다

탄소중립이라는 시급한 과제를 해결하기 위한 여러 방안 중, 시장 논리로 탄소 감축 동기를 부여하려는 접근법이 최근 많은 기대를 모으고 있다. 온실가스를 배출할 수 있는 권한, 즉 탄소배출권을 상품화하여 거래하는 '탄소시장(carbon market)'을 만들자는 것이다. 초기 탄소시장은 온실가스 감축 의무가 있는 주체들이 정부 규제에 따라 참여하는 의무 탄소시장(compliance carbon market, CCM) 중심으로 성장하였다(그림 4-1). CCM의 대표적인 형태는 배출권거래제(emission trading system, ETS)로서, 국가나 지역 단위로 온실가스 배출허용총량(cap)을 설정한 후 기업 같은 의무 감축 주체에게 할당량(allowance)을 부여, 기준 대비 부족하거나 남는 양을 거래할 수 있게 하는 제도이다.

2024년 현재 전 세계적으로 운영되는 ETS는 36개, 여기서 전체 온실가스 배출량의 18% (9.9 $GtCO_2e$)가 거래되고 있다[8]. 2005년 출범한 유럽연합 배출권거래제(EU-ETS)가 가장 크고 오래된 시장이다. 미국은 연방 정부가 아니라 주 정부 차원에서 ETS를 운영하는데, 미국 북동부 11개 주는 RGGI (Reginal Greenhouse Gas Initiative)에, 캘리포니아와 워싱턴 주는 캐나다 퀘벡 주와 함께 WCI (Westen Climate Initiative)에 참여 중이다. 아시아에서는 2015년 한국이 최초로 K-ETS를 도입하였고, 중국이 뒤를 이어 2021년 전국 단위 ETS 운영을 시작했다.

최근에는 CCM의 한계를 보완하는 추가 수단으로 자발적 탄소시장(voluntary carbon market,

6. van Loenhout, J. et al., "Human Cost of Disasters: An Overview of the Last 20 Years (2000-2019)", Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), December, 2020, https://www.cred.be/sites/default/files/CRED-Disaster-Report-Human-Cost2000-2019.pdf.
7. International Organization for Migration (IOM), "A Complex Nexus", https://www.iom.int/complex-nexus.
8. International Carbon Action Partnership (ICAP), "Emissions Trading Worldwide: ICAP Status Report 2024", April, 2024, https://icapcarbonaction.com/system/files/document/240522_report_final.pdf.

VCM)이 떠오르고 있다(그림 4-1). VCM은 감축 의무와 관계없이 개인, 기업, 정부, 비영리 단체 등이 자발적으로 참여하는 민간 주도 시장이다. VCM에서 거래하는 탄소배출권은 크레디트(credit)라 부르며, 국가 기관이나 UN이 아니라 민간 기관 인증을 거쳐 발행된다. 대표적인 인증 기관은 미국의 베라(Verra)와 NCX(National Capital Exchange), 노리(Nori), 스위스의 골드스탠다드(Gold Standard), 핀란드의 퓨로어스(Puro.earth) 등이다. 의무 감축 대상만 시장에 참여할 수 있는 CCM에 비해, VCM은 보다 다양한 주체에게 열려 있다. 또한, CCM 할당량은 정부가 결정하여 무상 혹은 유상으로 분배하는 개념이기 때문에 시장 참여자가 스스로 창출할 수 없는 반면, VCM 크레디트는 탄소 감축을 통해 얼마든지 새로 발급받을 수 있다.

	의무 탄소시장 (Compliance Carbon Market, CCM)	자발적 탄소시장 (Voluntary Carbon Market, VCM)
참여 주체	의무 감축 대상	기업, 정부, NGO, 개인 등
주거래 배출권	할당배출권(allowance)	크레디트(credit)
인증 기관	각국 정부	민간 기관
NDC 기여	직접 기여	간접 기여(파리협정 제6조 부합 시)
시장 규모 (2021년 기준)	USD 약 8,500억	USD 약 20억

*참여 방식(의무/자발) 외에 다른 기준으로도 탄소시장을 구분할 수 있음.

| 그림 4-1 | 탄소시장의 유형

2021년 기준 시장 가치를 비교하면 CCM이 8,500억 달러, VCM이 20억 달러이다[9,10]. CCM 대비 아직 걸음마 수준이지만, VCM은 특유의 유연성과 확장성을 바탕으로 잠재력이 크다는 평가를 받는다. 맥킨지(McKinsey & Company)는 VCM 성장폭을 2020년 대비 2030년까지 약 15배, 2050년까지 약 100배로 전망한 바 있다[11]. 다만, 표준화된 인증 기준이 없어 신뢰성이 떨어지는 점은 VCM이 극복해야 할 과제이다. 이런 배경에서 자발적 탄소시장 무결성 이니셔티브(Voluntary Carbon

9. Cárdenas, M. et al., "Forest-Based Carbon Markets: Pitfalls and Opportunities", Center for Global Development, November, 2023, https://www.cgdev.org/sites/default/files/forest-based-carbon-markets-pitfalls-and-opportunities_0.pdf.
10. Shell and BCG, "The voluntary carbon market: 2022 insights and trends", 2022.
11. Blaufelder, C. et al., "A blueprint for scaling voluntary carbon markets to meet the climate challenge", McKinsey & Company, January 29, 2021, https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/a-blueprint-for-scaling-voluntary-carbon-markets-to-meet-the-climate-challenge#/.

Market Integrity Initiative, VCMI) 같은 다자 간 협의체가 해결책을 마련할 수 있을지 기대를 모은다.

오늘날 세계 경제에서 국경을 넘나드는 거래가 너무나 자연스러운 것처럼, 탄소시장도 태동 단계부터 국제 거래를 전제로 발전해왔다. 1997년 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)에서 교토의정서(Kyoto Protocol)를 채택할 때 국가 간 배출권 거래를 허용하는 '유연성 체제(flexible mechanism)'를 도입하면서 국제 탄소시장이 형성될 가능성이 열렸다. 2015년 채택된 파리협정도 제6조를 통해, 다른 나라에서 확보한 온실가스 감축 실적, 즉 'ITMOs (internationally transferred mitigation outcomes)'를 자국 NDC 달성에 사용할 수 있게 허용했다. 이후 여러 차례의 UNFCCC 당사국총회(Conference of the Parties, COP)를 거치며 국제 탄소시장을 개설할 수 있는 세부 지침이 부분적으로 마련되었으나, 당사국 간 의견 차이로 인해 완전한 합의에는 이르지 못했다.

전 세계를 단일 규정으로 묶는 국제 탄소시장 개설이 난항을 겪고 있음에도 불구하고, 국가나 지역 단위로 크고 작은 탄소시장이 활발히 운영될 수 있는 배경은 무엇일까? UNFCCC에서 오랫동안 시장 기반 체제(market-based mechanism)을 기후변화 대응 수단으로 강조해왔기 때문에 수요가 충분하고, 지금까지 정해진 파리협정 제6조 세부 지침만으로도 양자 간 혹은 다자 간 협력을 통해 당사국 간 거래가 가능한 상태이다[12]. 또한 본격적인 국제 탄소시장 개설 전, 선제적으로 시장 가치를 발굴하고 조기 진출로 입지를 구축하려는 움직임이 정부와 민간 차원에서 확산하고 있다.

온실가스를 배출하는 제품이나 서비스에 부과하는 탄소세(carbon tax)도 탄소경제를 이루는 주요 축이다. 수요와 공급이 아니라 정부가 정한 세율에 따라 가격이 결정되기 때문에 시장의 일부라고 보긴 어렵고, 탄소시장과 함께 탄소가격제도(carbon pricing)라는 더 큰 개념으로 묶인다. 다수의 국가가 탄소세와 ETS를 함께 운영하면서 ETS 대상에 대해 탄소세를 면제하거나 환급하는 방식으로 중복 부과를 피하고 있다[13]. 2024년 현재 전 세계 온실가스 배출량의 6%가 탄소세 적용 대상이다[14].

12. 신성은, "탄소 배출권, 그리고 국제 탄소시장과 VCM (자발적 탄소시장)", <르몽드디플로마티크>, 2024년 7월 24일. https://www.ilemonde.com/news/articleView.html?idxno=19187.
13. 윤여창, 『탄소세 도입 방안에 대한 연구』, 한국개발연구원(KDI), 2021년 8월, https://kdi.re.kr/research/reportView?pub_no=17396.
14. World Bank Group, "State and Trends of Carbon Pricing Dashboard", https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/compliance/coverage.

탄소중립을 위한 산림 활용법

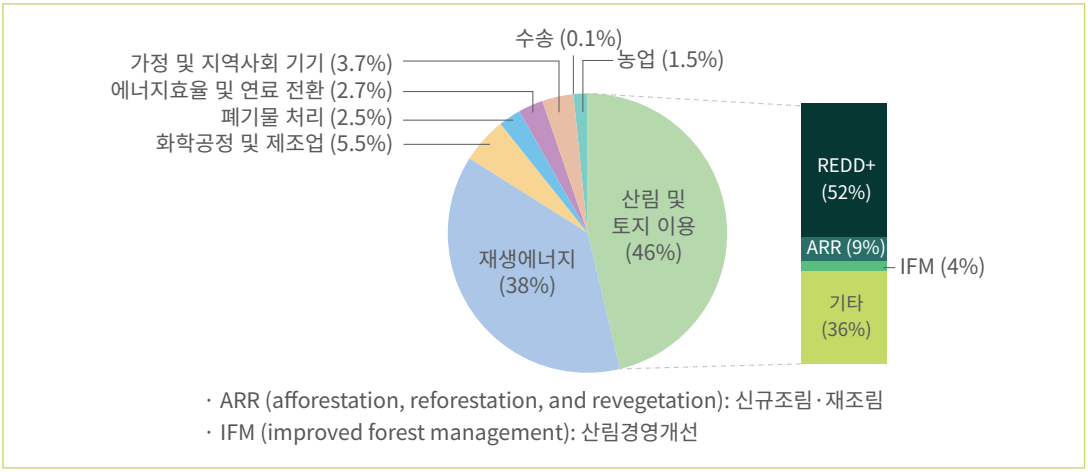
탄소시장 형성 이전에는 어떤 기후변화 대응 전략이 있었을까? 가장 오래되고 보편적인 온실가스 감축 수단은 산림이다. 나무는 대기로부터 이산화탄소를 흡수하여 광합성 재료로 사용하기 때문에 자연 고유의 탄소 흡수원이다. 물론 나무도 호흡 과정에서 이산화탄소를 배출하지만, 건강한 산림은 이산화탄소 흡수량이 배출량보다 많고 탄소를 유기물 형태로 저장하는 기능도 지닌다. 공학계에서 최근 많은 연구가 이루어지고 있음에도 불구하고, 산림만큼 안전하고 효율적인 인공 탄소 흡수원은 아직 개발되지 않았다.

온실가스 흡수원과 저장소로서 산림이 중요하다는 인식은 1992년 채택된 UNFCCC에도 드러나 있고, 1997년 채택된 교토의정서는 신규조림(afforestation)과 재조림(reforestation)을 온실가스 감축 활동으로 인정했다. 이에 더해, 파괴된 산림이 탄소 흡수원이 아니라 배출원 역할을 한다는 과학적 근거가 쌓이면서, 흡수원이자 배출원인 산림을 잘 관리해야 한다는 국제사회의 공감대가 형성되었다. 생물다양성 보존, 지역 주민 소득 보장, 자연 재해 방지 등 탄소 흡수 외에 산림이 제공하는 다른 편익을 위해서도 산림전용 방지 노력은 필요한 일이었다[15]. 한 가지 문제는 산림 전용 및 황폐화가 선진국보다는 개도국에서 주로 발생하는 문제임에도 불구하고, 교토의정서 체제에서 개도국은 온실가스 감축 의무가 없었다는 점이다.

이런 고민을 해결하고자 등장한 방법론이 REDD+[16]이다. REDD+는 선진국의 재정 지원을 통해 개발도상국의 산림전용(deforestation)과 황폐화(degradation)를 방지하여 탄소 배출을 줄이는 국제 협력 메커니즘이다. REDD+ 관련 논의는 교토의정서 체제였던 2005년 파푸아뉴기니와 코스타리카가 열대우림 국가연합(Coalition for Rainforest Nations, CfRN)을 대표하여 제안함으로써 시작되었다. 이후 10여 년 동안의 협의를 거쳐, 2015년 채택된 파리협정 제5조에 REDD+ 이행과 지원 촉진에 대한 내용이 명문화되었다. REDD+는 개도국의 산림보전 노력에 금전적 보상을 제공함으로써, 선진국 중심이던 감축 활동에 개도국의 자발적 참여를 끌어 내는 역할을 했다.

15. 윤평화, 『REDD+ 체제 구축과 이행』, 세계농업 제180호, 2015년 8월, https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=TRKO201600001501&dbt=TRKO&rn=.
16. Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation (REDD) and the role of conservation, sustainable management of forests, and enhancement of forest carbon stocks in developing countries. 개도국의 산림전용과 황폐화 방지뿐 아니라, 산림 보존, 지속가능한 산림경영, 산림 탄소축적 증진을 통해 온실가스 배출을 줄이는 활동. (출처: 김래현 외, 『2023 쉽게 이해하는 REDD+ 설명집』, 산림청, 2022년 12월.)

오늘날 REDD+는 운용 재원과 성과 활용 목적 등에서 다양한 요소가 얽혀 있는데, 크게 UNFCCC가 국가나 준국가(subnational) 단위로 직접 관리하는 바르샤바 REDD+ 프레임워크(Warsaw Framework for REDD+, WFR)와 그 밖에서 운영되는 사업들로 나눌 수 있다. 후자의 경우 프로젝트 규모가 상대적으로 작은 편이며, 주로 VCM에서 크레디트를 거래할 목적으로 운영된다. 여러 해 동안 REDD+를 포함한 산림 분야는 VCM에서 빼놓을 수 없는 한 축을 담당해왔다. 2022년 기준 VCM 전체 크레디트 거래량의 46%, 거래 금액으로는 11억 달러가 산림 관련 프로젝트에서 발생하였다[17](그림 4-2). 여기에서 다시 절반이 REDD+로부터 온 것이다.



| 그림 4-2 | 분야별 VCM 거래량 (2022년)

이제 국제사회는 교토의정서를 뒤로 하고 파리협정 체제에 진입했다. 선진국과 개도국 구분 없이 200여 개 당사국이 NDC라는 자발적 공약에 따라 감축 활동을 이행해야 하는 상황에서, 산림은 모두가 활용할 수 있는 감축 수단이다. 2021년 5월 1일 기준, UNFCCC에 NDC 상향안 혹은 수정안을 제출한 55개국 중 47개가 산림을 언급할 만큼 이미 많은 국가가 산림 활용 가치에 주목하고 있다[18]. 우리나라도 제3차 탄소흡수원 증진 종합계획 (2023~2027)에 따라[19], 2030년 NDC 291백만 tCO_2e의 11%인 32백만 tCO_2e를 산림 부문에서 확보할 계획이다. 이 중 5백만 tCO_2e는 REDD+ 사업을 통해 국외 산림에서, 나머지는 국내 산림을 통해 충당한다는 전략이다.

17. Donofrio, S. et al. “Paying for Quality: State of the Voluntary Carbon Markets 2023”, Ecosystem Marketplace, November 28, 2023, https://3298623.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/3298623/SOVCM%202023/2023-EcoMarketplace_SOVCM-Nov28_FINALrev-Mar2024.pdf.
18. Haupt, F. et al., “Taking stock of national climate action for forests”, New York Declaration on Forests (NYDF) Progress Assessment, October, 2021, https://forestdeclaration.org/wp-content/uploads/2021/10/2021NYDFReport.pdf.
19. 산림청, 『제3차 탄소흡수원 증진 종합계획: 2023~2027』, 2023년 7월.

REDD+를 비롯한 산림 관련 활동을 각국 NDC 달성에 활용하는 구체적 방안은 앞으로 남은 UNFCCC COP 협상에 달려 있다. 쟁점 중 하나는 ITMOs 인정에 관련 세부 지침이다. 예를 들면, REDD+를 통해 발생한 감축 성과를, 이전한 국가와 이전 받은 국가 양쪽이 어떻게 나눠 가질지, 이중 계산을 어떻게 방지할지 등을 결정해야 한다. 또한 탄소 감축 성과를 NDC에 활용할 수 있는 것과 탄소시장에서 거래할 수 있는 것은 엄연히 다르다. CCM의 할당량은 NDC와 직접 연계가 가능하지만[20], 동일한 감축 성과를 VCM 거래와 NDC 충족에 모두 사용할 수 있는지에 대해서는 해석의 여지가 있다[21]. 큰 틀에서 보면 파리협정은 분명 시장 및 비시장 접근법 모두를 NDC 달성 수단으로 허용하고 있으며, 탄소시장이 발달하면서 CCM과 VCM의 경계도 허물어지는 추세이다. 이런 점을 감안하면 앞으로 산림의 활용 가치는 탄소시장 안팎에서 점점 커질 전망이다.

기후 위기 대응이라는 전 지구적 목표를 위해서든, 보다 현실적으로 탄소배출권 거래나 자국의 NDC 달성을 위해서든, 지금 세계 각국 정부는 산림 자원 활용 가치를 높이기 위한 정책 마련에 힘 쏟고 있다. EU는 10년간 30억 그루 나무심기 등을 목표로 하는 '2030 신산림전략 (EU Forest Strategy for 2030)'을 발표했고, 미국은 10년간 12억 그루 이상의 나무를 심겠다는 전략을 담아 '리플랜트 법안(REPLANT Act)'을 마련했다[22]. 영국은 산림 비율을 현재 13%에서 2050년까지 17~20%까지 끌어올릴 계획이며[23], 일본은 2010년 3층 이하 공공 건축물의 ¼ 이상을 목재로 짓게 하는 법률을 제정하고[24], 2021년 이를 민간 건축물까지 확대했다[25].

미완성의 탄소시장, 전략과 재원이 중요

지금의 탄소시장은 완성형이 아니고, 협상을 통해 구체화할 부분이 많이 남은 상태이다. 시장 형성 단계에서 각국 정부는 국가 간 협력 구도를 마련하고, 자국에 유리한 제도를 국제사회에 적용하기

20. 송홍선, 『2050 탄소중립과 배출권거래제의 활성화』, 자본시장연구원, 2021년 10월 28일, https://www.kcmi.re.kr/report/report_view?report_no=1256.
21. 산림청, 『알고보면 쓸모있는 REDD+ 이모저모!』, 2021년 5월.
22. American Forests, "The REPLANT (Repairing Existing Public Land by Adding Necessary Trees) Act: Restoring Our National Forests", https://www.americanforests.org/our-programs/policy/replant-act/.
23. 산림청, 『2050 탄소중립 달성을 위한 산림부문 추진전략』, 2021년 12월.
24. 이기진, "노령 수종 교체하고 도시숲 확대… 탄소중립, 숲에서 답을 찾다", <동아일보>, 2022년 6월 4일, https://www.donga.com/news/Society/article/all/20201213/104426728/1.
25. 산림청, "나무로 지은 30평 주택, 이산화탄소 40t 절감… "목재 이용이 곧 탄소중립"", <동아일보>, 2024년 4월 6일, https://www.chosun.com/special/special_section/2024/04/05/YNZ7IFEIVFBP7G2A45UZSHHHI4/.

위해 노력하고 있다. 흥미로운 예로, EU는 탄소 규제가 비교적 느슨한 국가에서 수입되는 6개 탄소 집약적 품목(철강, 알루미늄, 비료, 수소, 시멘트, 전력)에 대해 일종의 관세를 부과하는 탄소국경조정제도(Carbon Border-Adjustment Mechanism, CBAM)를 도입하는 중이다. 시범 운영은 2023년 10월부터 시작했으며, 2026년부터 본격 시행에 나설 예정이다. 기후변화 대응과 공정 무역을 놓고 우려와 반발을 표하는 국가도 있지만[26], 이에 질세라 영국과 미국 등은 CBAM과 유사한 제도를 도입하겠다는 계획을 밝혔다[27,28].

유럽에 비해 상대적으로 탄소시장 개척에 늦게 뛰어 든 아시아에서도 ETS나 탄소세를 도입하는 국가가 느는 추세이다[29]. 특히, 최근 일본의 변화가 눈에 띈다. 일본은 세계 5위 온실가스 배출국이지만, 2011년 후쿠시마 사고 이후 교토의정서 탈퇴를 선언하는 등 기후변화 대응에 소극적이었다[30]. 에너지 자급도가 낮고, 탄소 집약도가 높은 제조업 중심 산업 구조를 가진 데다, 원자력 발전소 폐쇄에 따라 화석연료 의존도가 증가하면서 탈탄소 정책이 힘을 잃었던 탓이다. 그러다가 2015년 파리협정을 비준하고, 2020년에는 2050 탄소중립 달성 목표를 선언하면서 탈탄소 산업을 신성장 동력으로 활용하려는 움직임을 본격화하고 있다.

일본은 녹색전환(green transformation, GX)이라는 정책 기조 아래, 소위 '성장 지향형' 탄소가격제를 추진 중이다[31]. 산업계 반발로 의무 할당량 기반 ETS 도입에 실패하고 여러 제도가 난립하는 등 시행착오를 겪은 후[32], 2023년 GX-ETS 시범 운영을 시작했다[33]. 같은 해 도쿄증권거래소(Tokyo Stock Exchange, TSE)를 개설함으로써, 정부 인증 탄소배출권인 J-크레디트(J-Credit)를 거래할 수 있는 장내 시장도 마련되었다. GX-ETS 참여 주체는 GX 리그(GX League)에 속한 기

26. 안갑성, ""선진국 지들은 펑펑 써놓고"… 탄소세 부과방침에 中·인도 반발", <매일경제>, 2023년 12월 11일, https://www.mk.co.kr/news/world/10895407.
27. 서진우, "EU 이어 英도 탄소국경세… 韓철강 타격 우려", <매일경제>, 2023년 3월 30일, https://www.mk.co.kr/news/business/10700554.
28. 최희석, "EU탄소국경세 이어 美 청정경쟁법까지… 높아지는 '탄소장벽'", <매일경제>, 2024년 1월 25일, https://www.mk.co.kr/news/business/10929316.
29. 한국산업기술진흥원(KIAT), 『아시아 탄소가격제 도입 동향』, 2022년 7월 5일, https://www.kiat.or.kr/front/board/boardContentsView.do?board_id=71&contents_id=34c533ce38ec425cb2f7189ded7a78cd&MenuId=35bd4b3ff7584e61912afb53aba698fd.
30. 장현숙, 『일본 배출권거래제 특징과 시사점』, 한국무역협회(KITA), 2024년 8월 20일, https://m.kita.net/researchTrade/report/tradeFocus/tradeFocusDetail.do?no=2642.
31. 각주 30와 동일.
32. 주일한국기업연합회(KOBA), 『탄소배출권시장 부상과 주요국의 대응』, 2010년 1월, https://www.koba.or.jp/bbs/board.php?bo_table=trade_new&wr_id=1818&page=214.

업들인데, 이들은 감축 목표뿐 아니라 GX-ETS 탈퇴 여부까지 스스로 결정할 수 있다. GX-ETS는 정부 감독 아래 탄소배출권 거래가 이루어지고, 향후 유상할당 방식이 도입될 예정이라는 점에서 EU- 혹은 K-ETS와 공통점이 있지만[34], 규제가 아닌 자발성에서 출발했다는 게 특이하다. 또한 일본의 GX 추진 전략에는 탄소시장을 활성화하기 위한 대규모 투자 촉진책도 들어 있다. 민간 투자를 유도하기 위해 정부가 20조 엔 이상의 국채를 발행해 GX 관련 산업 육성에 선행 투자하겠다는 계획이다[35]. ETS를 규제보다는 선제적 탄소 감축 활동에 참여하는 기업에게 인센티브를 제공하는 수단으로 활용하고, 기업 부담을 줄여주는 실질적인 금융 정책을 제시함으로써, 일본 정부는 민간 참여를 잘 끌어내고 있다는 평을 받는다[36].

정부 주도 GX-EST와 별개로 VCM 크레디트 거래소도 2023년 일본에서 문을 열었다. 소프트뱅크(SoftBank)에서 분리된 금융주식회사 SBI홀딩스가 기후기술 벤처기업 아수에네(Asuene)와 손잡고 카본EX(Carbon EX)를 개설한 것이다. 카본EX는 민간 인증 VCM 크레디트뿐 아니라 정부 인증 J-크레딧, 또 베라나 골드스탠다드 등 해외에서 발행한 VCM 크레디트까지 모두 취급하고 있다. 개설 후 5년 안에 연간 1천억 엔 엔 규모 거래량을 달성한다는 목표를 밝히기도 했다[37].

한편, 교토의정서 탈퇴 후 일본이 UNFCCC 밖에서 독자적으로 구축한 국가 간 협력 모델 JCM(Joint Crediting Mechanism)은 파리협정 출범과 함께 활용 가치가 높아졌다. JCM은 양자 합의를 체결한 국가와 공동으로 온실가스 감축 사업을 수행하고, 여기서 발생하는 크레디트 일부를 일본 NDC에 활용할 수 있게 만든 제도이다[38]. 2013년 몽골을 시작으로 2024년 2월까지 일본이 확보한 JCM 협력 국가는 총 29개에 이른다[39]. JCM은 원래 국제적으로 공인된 방식이 아니었으나, 파리협정이 제6조로써 국가 간 협력을 장려하고, ITMOs 관련 후속 협상이 활발히 이루어지면서 유

33. 사토 요시히토 외, 『GX 실현을 뒷받침하는 탄소크레딧·배출량 거래』, 노무라종합연구소, 2023년 7월, http://www.nri-seoul.com/seoul/insight_assets_202307_2.php.
34. 권준민, 『일본의 GX(Green Transformation) 추진 전략』, 한국산업기술진흥원(KIAT), 2023년 10월, https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE11611504.
35. 조아영, "탈탄소 전환에 150조 엔 투자…GX에 미래 건 일본", <한국경제>, 2023년 11월 6일, https://www.hankyung.com/article/2023102268651.
36. 각주 30와 동일.
37. 홍명표, "손정의 회장의 일본 SBI, 올 가을 탄소배출권 거래소 설립", <임팩트온>, 2023년 6월 12일, https://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=6625.
38. 심상민, 『파리협정상 시장 메커니즘의 논의 현황과 한국에의 함의』, 국립외교원, https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10536003.
39. Carbon Market Express, "Joint Crediting Mechanism", http://carbon-markets.env.go.jp/eng/jcm/index.html.

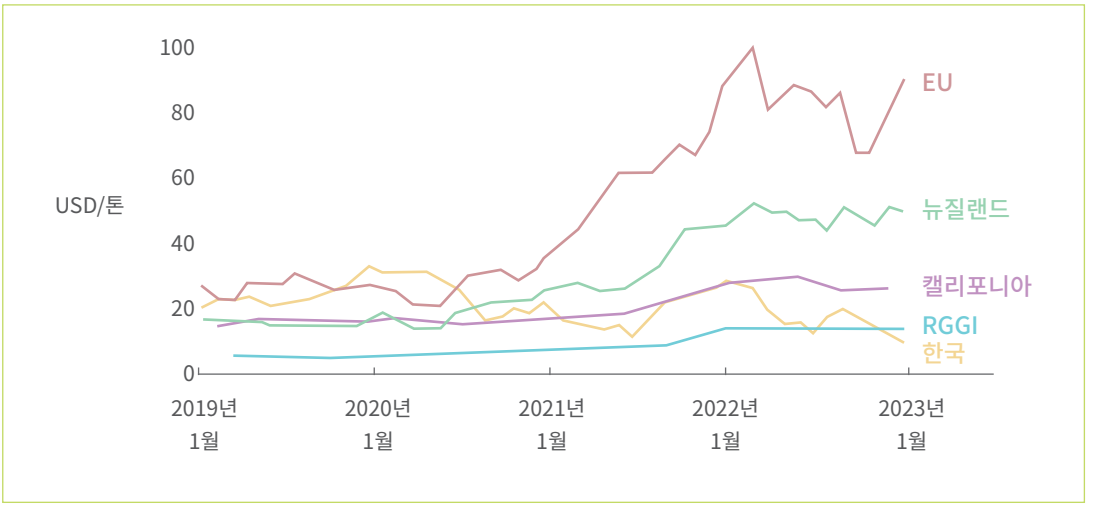
리한 위치를 선점하게 되었다.

한국, 탄소시장 활성화 전략은?

우리나라 탄소시장은 탄소중립과 경제 성장이라는 두 마리 토끼를 잡는 데 효과적인수단이 되고 있을까? 한국은 아시아 최초로 2015년 ETS를 도입하여 CCM 쪽에서 빠른 출발을 했다. K-ETS는 EU-ETS를 차용한 것으로, 제1차(2015~2017년)와 제2차(2018~2020년)를 지나, 현재 제3차 계획기간(2021~2025년) 중에 있다. 2026년부터는 제4차 계획기간에 들어갈 예정이다. 제3차 기간 기준, 국가 온실가스 배출량의 73.5%가 K-ETS 적용 대상이다[40]. EU-ETS가 역내 배출량의 39%를 감당한다는 점을 고려하면, 한국은 ETS에 대한 의존도가 높은 편이다.

하지만, 한국의 배출권 거래 가격은 EU의 1/10 수준에 불과하다(그림 4-3)[41,42]. 2024년 8월 현재 9천원대인데, 이는 2015년 K-ETS가 시작했을 때와 거의 비슷한 가격이며, 최근 몇 년 사이 하락세를 겪은 결과이다[43]. 배출권 가격이 낮으면 ETS 참여 기업은 온실가스 직접 감축보다 배출권 구매를 선택할 가능성이 크고, 배출권 판매 수익을 재원으로 하는 기후대응기금[44] 규모도 축소될 우려가 있다. 가뜩이나 기후대응기금이 다른 나라에 비해 적다는 지적이 있는 상황에서, 배출권 가격을 안정화하고 K-ETS 효율성을 높이기 위한 대책이 필요해 보인다. 기후대응기금 자체를 증대하고 최적으로 분배하기 위한 고민도 함께 이루어져야 할 것이다[45].

40. 환경부, “제3차 계획기간(2021~2025) 국가 배출권 할당계획 마련”, 2020년 9월 29일, https://www.gir.go.kr/home/board/read.do?menuId=11&boardId=140&boardMasterId=4.
41. 박가영, “탄소 배출권 판매 수익 740억달러... 사상 최대”, <ESG경제>, 2024년 4월 11일, https://www.esgeconomy.com/news/articleView.html?idxno=6328.
42. 박지훈, “한국의 탄소배출권 거래는 유럽과 반대로 배출권 가격 되레 하락”, <매일경제>, 2023년 8월 30일, https://www.mk.co.kr/news/culture/10818271.
43. 한국RE100협의체, “온실가스 배출권 국내 시세”, https://www.k-re100.or.kr/doc/sub2_4_1.php.
44. 『기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법』 제69조에 따라 설치된 기금. 정부의 온실가스 감축 기반 조성 및 운영, 탄소중립 사회로의 이행과 녹색성장의 추진을 위한 온실가스 감축 활동 지원, 기후위기 대응 과정에서 경제 사회적 여건이 악화된 지역, 노동자, 계층에 대한 일자리 전환 지원, 기후위기 대응을 위한 녹색기술 연구개발, 금융지원, 교육홍보, 국제협력 등의 목적으로 사용될 수 있음. (출처: 김수나, 『2024년 기후대응기금, 국토부, 중기부, 환경부 등 전체 부처의 사업 규모 감소 추세에 반해, 산자부 사업 규모만 증가』, 나라살림연구소, 2023년 11월 2일, https://narasallim.net/report/528.)
45. 김예윤, “기후대응기금 재원 불안정… 탄소저감 성과 큰 곳에 집중 지원을”, <동아일보>, 2023년 9월 19일, https://www.donga.com/news/Politics/article/all/20230919/121241557/1.



| 그림 4-3 | 국내외 탄소배출권 가격 변화

민간 차원에서는, 한국형 VCM 생태계를 구축하려는 노력이 한창이다. 2021년 그리너리(Greenery)라는 스타트업이 블록체인 기술을 기반으로 팝플(POPLE, Promise for Our Planet)을[46], 2022년에는 비영리 재단인 기후변화센터가 아오라(aora, Alliance for Our Responsible Action)를 개설했다. 대한상공회의소도 2023년 탄소감축인증센터를 출범하고, VCM 거래소 개설 수순에 들어갔다. 그동안 한국 기업은 베라, 골든스탠다드 등 해외 기관을 통해 탄소 감축 활동을 인정받고 VCM 크레디트를 발급해왔는데, 복잡한 절차 때문에 인증까지 평균 약 1년 6개월이 걸리고 크레디트 구매 비용도 외화로 지불해야 하는 등 불편함이 많았다[47]. 이제 막 태동하는 국내 VCM 거래소가 앞으로 국제적인 신뢰성을 확보하면서 성장해 나간다면, 한국의 NDC 달성과 탄소시장 경쟁력 강화에 기여할 수 있을 것이다. 시장 활성화에 마중물 역할을 할 재원과 관련 제도를 마련하기 위한 정부의 역할도 더욱 중요해질 전망이다.

탄소시장의 핵심 자원인 산림을 잘 가꾸고 활용하는 전략과 실행력도 필요하다. 우리나라는 NDC 달성의 상당 부분을 산림에 의존하고 있지만, 지금 상태로 목표 충족이 가능할지 걱정스럽다. 우선, 국내 산림의 이산화탄소 순흡수량이 2008년 이후 감소 추세를 보인다. 탄소 흡수 능력이 떨어지는

46. 임영신, “국내 최초 자발적 탄소시장 플랫폼 ‘팝플’ 출범”, <매일경제>, 2021년 12월 22일, https://www.mk.co.kr/news/it/10147139.
47. 이상호, “연평균 30% 성장, “한국형 표준 만들자””, <비즈니스포스트>, 2023년 3월 7일, https://www.businesspost.co.kr/BP?command=article_view&num=308321.

30년생 이상 고령 나무 비율이 77%이고[48], 산불, 산사태, 병해충 등 산림재해가 큰 규모로 자주 일어나면서 산림 면적이 줄고 있는 데에서 원인을 찾을 수 있다. 연평균 산불 피해 면적은 1980년대 1,100 ha에서 2000년대 3,700 ha로 증가했다. 산림전용으로 인한 영향도 무시할 수 없다.

다른 경제협력개발기구(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) 회원국과 비교했을 때 연간 생장량 대비 목재 수확량 비율이 절반 이하 수준이며[49], 목재 자급률이 15%에 불과한 것도 개선이 필요하다[50]. 나무는 벌채하는 순간 탄소 흡수원 기능을 상실하고, 죽은 나무를 그대로 두면 부패하면서 공기 중으로 탄소를 배출한다. 하지만, 가공하여 목재로 활용하면 제품 수명이 다할 때까지 탄소를 저장할 수 있다. UNFCCC도 제17차 당사국총회(COP17)를 통해 '벌채목재제품(harvested wood products, HWP)'의 탄소 고정 기능을 인정한 바 있다[51]. 따라서 국산 목재 활용률을 높이는 것은 단순히 해외 의존도를 낮추는 일이 아니라, 국제적으로 공인된 탄소 저장고를 늘리는 활동이다. 우리나라 산림은 소규모로 관리하는 사유림 비중이 높아 임도(林道) 등 목재 산업 인프라가 부족한 편이다. 국산 목재가 수입산에 비해 단가가 비쌀 수밖에 없는 이유이다. 목재 자급률을 높이기 위해서는 열악한 사유림 경영 환경을 개선하고, 규모와 인프라를 갖춘 경제림을 육성하는 노력이 필요하다.

기후변화 대응은 정부 힘만으로는 한계가 있다. 따라서 산림 분야 전반에서 민간 기업과 시민의 참여를 독려할 정책도 중요하다. 숲 가꾸기, 도시 내 녹지 조성하기, 국산 목제품 사용하기에서부터, 고성능 임업 기계 보급, REDD+ 참여 등 산림 활용 가치를 높이는 활동은 다양하다. 일본처럼 건축물에 목재 사용을 의무화하거나, 인센티브 제공으로 탄소시장 참여 동기를 높이는 방안도 고려해 볼 수 있다. 안정적인 투자를 위해 새로운 산림 관련 기금을 만들고, 세제 혜택으로 민간 참여를 유도하는 접근도 가능하다. 우리 국토를 넘어 해외로 산림을 활용할 수 있는 무대도 점점 넓어지고 있기 때문에, 더욱 다양한 해법이 등장하여 탄소중립에 기여할 수 있기를 기대해본다.

48. 강경석 외, "'늙은 나무' 77%… 한국, 숲도 고령화", <동아일보>, 2024년 4월 4일, https://www.donga.com/news/Society/article/all/20240401/124249962/1.
49. 김영환, "한국 산림의 탄소 흡수량 20년째 '감소중'", <동아사이언스>, 2022년 11월 10일, https://m.dongascience.com/news.php?idx=57041.
50. 박상은, "국산 목재 자급률 15% 불과… 숲도 경제적 자원으로 활용할 때", <국민일보>, 2024년 4월 4일, https://www.kmib.co.kr/article/view.asp?arcid=1712195176.
51. 이명화, "교토의정서 당사국회합, HWP 탄소고정화 합의", <목재신문>, 2012년 3월 3일, https://www.woodkorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=16995.

3-5.

탄소 감축을 위한 EPC와 산림

"금융 시장에 있는 자본이 탄소 감축에 몰려야 하는데 현실은 그렇지 않아"

"EPC (Environmental Protection Credit)란, 잠재적 탄소 감축량을 바탕으로 기술 Solution Owner에게 조기 보상하는 체계"

오준환 사회적가치연구원(CSES) V-Lab 실장



기후금융의 냉혹한 현실

전 세계 도전 과제인 탄소배출 감축을 위해 다방면의 노력이 필요한 가운데, 기후변화 대응을 위한 기술 – 이하 '기후테크'로 통칭 – 연구·개발 촉진과 탄소 감축 보상을 위한 기후금융 시장·제도 발전의 중요성은 더욱 높아지고 있다. 그렇지만 전반적으로 투자 시장이 기후 위기 대응이라는 장기적인 과제보다 단기적인 경제적 가치에 따라 민감하게 움직이면서 기후금융의 냉혹한 현실도 드러나고 있다.

2050년 탄소중립 달성을 위해서는 기후금융 연간 투자금이 2030년까지 9조 달러, 2050년까지 10.8조 달러가 되어야 함에도 불구하고, 2022년 현재 기후금융 투자 규모는 1.27조 달러에 불과하다[1]. 2022~2023년 사이에는, 이전까지 꾸준한 성장세를 보이던 기후테크 투자 규모가 30%, 관련 거래 건수는 3% 감소하였다[2]. 부문별 탄소 배출량이나 탄소 감축 잠재력을 고려하지 않은 채 기후테크 투자가 이루어지고 있는 것도 문제이다[3]. 예를 들어, 산업 부문은 탄소 배출의 34%를 차지하고 있지만 기후테크 투자에서 차지하는 비중은 14% 수준이다. 반면 전기자동차 등 모빌리티 분야는 탄소 배출량 점유율이 15%임에도 불구하고 기후테크 투자 점유율은 45%나 된다. 탄소 감축 잠재량이 높은 분야일수록 기후테크 투자도 많아야 기후변화 대응에 긍정적으로 작용할 텐데, 실제로는 양자 간 별다른 연관성이 보이지 않는다.

자발적 탄소시장, 잠재력만으로는 아직 역부족

2022년 현재 전체 글로벌 투자 시장 규모 120조 달러 중 ¼인 30.3조 달러가 지속가능 금융 자산으로 분류된다. 이처럼 굉장히 많은 자본이 지속가능 투자에 몰리고 있지만, 기후변화 대응 관련 시장은 여전히 작다. 기후금융 투자 규모는 1.27조 달러, 기후테크 벤처캐피탈과 사모펀드 규모는 1천억 달러, 자발적 탄소시장 규모는 20억 달러에 불과하다[4]. 또한 2021년 맥킨지(Mckinsey &

1. Buchner, B. et al., "Global Landscape of Climate Finance 2023", Climate Policy Initiative, November 2023, https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/global-landscape-of-climate-finance-2023/.
2. CVTC, "Climate Tech Investment Trends 2023", Sightline Climate, January 5, 2024, https://www.ctvc.co/32bn-and-30-drop-as-market-hits-pause-in-2023/.
3. Cox, E. et al., "State of Climate Tech 2023", PwC, October 17, 2023, https://www.pwc.com/gx/en/issues/esg/state-of-climate-tech-2023-investment.html.

Company) 보고서에서 자발적 탄소시장이 2030년까지 15배 성장하여 500억 달러 규모가 되고, 2050년까지는 100배 성장할 것[5]이라고 긍정적으로 예측하였으나, 2023년 이후부터 자발적 탄소시장은 전혀 성장하지 않고 있다. 탄소 배출 감축권 구매를 직접적인 탄소 감축인 것처럼 포장하는 등 실질적으로는 딱히 친환경적이지 않은데도 겉으로는 환경 보호에 기여하는 것처럼 홍보하여 이익을 얻는 그린워싱(greenwashing) 행위가 자발적 탄소시장과 관련해서 성행한다는 논란이 크게 불거졌기 때문이다.

이러한 한계에도 불구하고 자발적 탄소시장은 미래에 활성화될 잠재력이 분명히 있다. 당장 큰 수익을 얻을 수 없는 상황이지만 이미 많은 참여자가 생태계를 구축해 나가고 있는 모습에서도 성장 가능성이 보인다. 문제는 참여자들 간 상호 연계성도 부족하고 시장 자체가 조직적이지 않다는 점이다. 시장의 여러 구성 요소를 조직적으로 연계하는 방법론이 개발된다면, 자발적 탄소시장이 가진 잠재력이 현실에서 발휘될 수 있을 것이다.

환경보호크레디트(Environmental Protection Credits, EPC)이란?

사회적가치연구원(Center for Social Value Enhancement Studies, CSES)에서는 자발적 탄소시장을 조직화하기 위한 방안으로 환경보호크레디트(Environmental Protection Credits, EPC) 메커니즘을 개발 중이다. EPC는 잠재적 탄소 감축 성과에 비례하여 개발자 또는 사업자에게 인센티브를 지급함으로써 탄소 감축 솔루션 조기 개발을 유도한다. EPC는 '1) 이니셔티브(Initiative), 2) 솔루션 개발자 또는 사업자(Solution Owner), 3) 탄소 감축 솔루션 가치 평가(Valuation) 및 성과 인증(Standard)과 검증(Measurement, Reporting, Verification, MRV) 메커니즘, 4) 투자자(Investor), 5) 크레디트 구매자(Credit Buyer)'라는 5가지 구성 요소의 상호작용으로 작동한다(그림 5-1).

4. BloombergNEF, "Long-Term Carbon Offsets Outlook 2024", 2024; Buchner, B. et al., op. cit; Cox, E. et al., op. cit; Donofrio, S. et al., "State of the Voluntary Carbon Markets 2023", Ecosystem Marketplace, 2023; Global Sustainable Investment Alliance (GSIA), "Global Sustainable Investment Review 2022", 2022.
5. Blaufelder, C. et al., "A blueprint for scaling voluntary carbon markets to meet the climate challenge", McKinsey & Company, January 29, 2021, https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/ourinsights/a-blueprint-for-scaling-voluntary-carbon-markets-to-meet-the-climate-challenge.

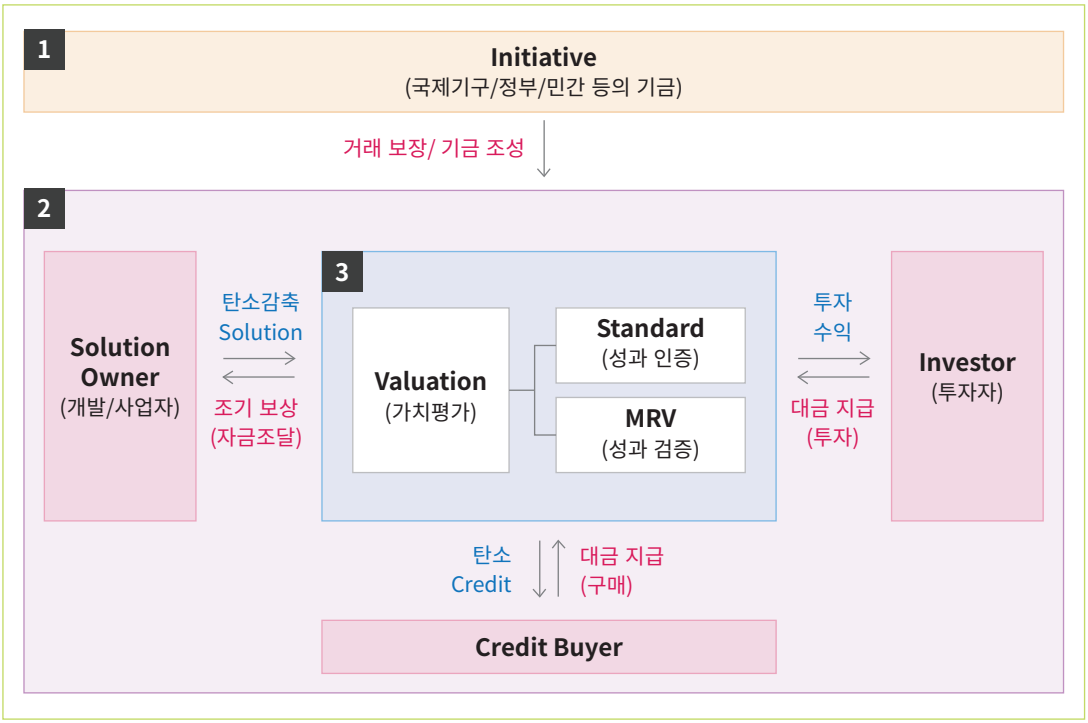


그림 5-1 | EPC 메커니즘

이니셔티브는 잠재적 탄소 감축 가치의 저장 수단인 크레디트를 보증하고 기금을 조성하는 국제기구나 정부, 민간 조직을 지칭한다. 크레디트 가격은 시장에 의해 결정되지만, 크레디트가 거래될 수 있도록 그 가치를 보장하는 것은 이니셔티브의 몫이다. 따라서 EPC 메커니즘이 성공하기 위해서는 권위 있고 신뢰성이 높은 이니셔티브를 확보하는 것이 관건이다. 이 밖에도 솔루션 개발자와 사업자, 투자자, 크레디트 구매자 전반에 걸쳐 참여자를 발굴하고 시장으로 유인하면서, 탄소 성과 관련 정보를 투명하고 종합적으로 제공하는 노력이 필요하다.

기후금융 시장 안에는 EPC 개념과 유사한 상품이 이미 다양하게 존재한다. 상품 이름과 거래단위 및 형태 등에서 차이를 보이지만, 미래의 탄소 감축 잠재력에 가치를 부여한다는 점에서 넓은 의미의 EPC 시장으로 이해할 수 있다. 다만 그 규모가 미미하고, 시장 요소 간 단절로 인해 발전에 어려움을 겪고 있을 뿐이다. 흩어져 있는 EPC 관련 참여자를 조직화하고, 탄소 성과 평가와 거래에 기반을 제공하는 종합 정보 플랫폼을 구축한다면 기후금융 시장 활성화에 큰 도움이 될 것이다.

태동하는 EPC 시장

공공 부문에서 EPC와 유사한 구조를 활용한 사례로는 캐나다 성장기금(Canada Growth Fund, CGF)이 조성한 탄소 배출권 선구매 시장이 대표적이다. 엔트로피(Entropy)라는 기업은 캐나다 앨버타(Alberta)주 산업 단지에서 탄소포집 및 저장(carbon capture and storage, CCS) 프로젝트를 수행하는 사업자이다. CGF는 이 기업이 미래에 발급받게 될 탄소 크레디트를 미리 매수하면서 최저가를 탄소 1톤당 86.5 캐나다 달러로 보장하기로 했다. EPC 관점에서 보면, CGF라는 이니셔티브가 엔트로피라는 솔루션 개발자에게 탄소 감축 잠재력을 담보로 조기 투자를 한 셈이다. 이 과정에서 미래의 탄소 감축 효과를 예측하고 크레디트로 환산하는 평가 메커니즘도 마련되었다.

민간 부문에서도 EPC 관련 사례를 찾을 수 있다. 스위스의 기후 컨설팅 기업 사우스폴(South Pole)과 일본의 대기업 미츠비시(Mitsubishi)는 넥스트젠(NextGen)이라는 합작 기업을 통해 탄소 배출권 예약 구매 시장에 뛰어 들었다. 넥스트젠의 역할은 투자자와 솔루션 개발자 사이를 중개하면서 탄소 1톤당 200 달러 이내에서 탄소 배출권 가격이 형성되도록 예약 구매 입찰을 진행하는 것이다. 예약 구매 대상 기업에는 텍사스 등에서 탄소직접포집(direct air capture, DAC) 설비를 구축 중인 원포인트파이브(1PointFive)가 포함되어 있다. DAC는 거대한 송풍기로 공기를 빨아들인 후 이산화탄소만 분리하는 기술로서 설비 건설에 막대한 비용이 들어간다. 그만큼 조기 투자를 유인하는 EPC 메커니즘이 필요한 분야이기도 하다.

퓨로어스(Puro.earth)라는 자발적 탄소시장 거래 플랫폼이 2022년 출시한 사전 배출권 'Pre-CORCs'도 EPC와 통하는 면이 있다. 자발적 탄소시장에서 크레디트 발행은 보통 탄소 감축 이후에 이루어진다. 퓨로어스는 자체 방법론에 따라 'CORCs (CO_2 Removal Certificates)'라고 불리는 탄소 제거 인증서를 디지털 자산 형태로 발행해 왔다. CORCs 자체는 사후(ex-post) 배출권이지만, Pre-CORCs 형태로 선구매하면 CORCs 발급 수년 전부터 활용이 가능하다. 이런 방법을 통해 퓨로어스는 베라(Verra) 등 다른 플랫폼과 차별화를 꾀하면서 바이오차(biochar)[6] 같은 탄소 제거 기술을 지원하고 있다.

6. 나무나 나뭇잎 같은 유기물을 저산소 조건에서 열분해하여 숯처럼 만든 것. 연료나 비료로도 가치가 있지만, 자연 분해가 어려워 수백 년 동안 탄소를 안정적으로 저장할 수 있어서 최근 탄소시장의 관심을 받고 있다.

산림 탄소 크레디트, 그린워싱 극복이 관건

그동안 자발적 탄소시장에서 가장 큰 영향력을 발휘해 온 분야는 바로 산림 활용 같은 자연 기반 프로젝트이다. 2023년 기준 전체 크레디트의 절반 정도가 자연 기반 프로젝트에서 발생했으며, 크레디트 가격도 다른 분야에 비해 자연 기반 프로젝트가 높은 편이다[7]. 이런 점에서 최근 산림 관련 탄소 크레디트에 대해 불거진 그린워싱 논란은 산림 분야를 넘어 자발적 탄소시장 전체의 전망을 어둡게 하고 있다. 2023년 1월 영국 일간지 가디언(Guardian)이 열대우림 보호 사업과 관련하여 베라가 인증한 탄소 크레디트의 90% 이상이 가짜라고 보도하면서[8], 산림 관련 탄소 크레디트의 신뢰성에 금이 가기 시작한 것이다. 세계 최대 탄소 크레디트 인증 기관인 베라가 논란의 중심이 된 점도 국제사회에 충격을 주었다.

그린워싱 논란을 극복하기 위해서는 지금의 크레디트 시장이 일종의 레몬시장(Lemon Market)이라는 점을 이해해야 한다. 즉, 공급자는 제품에 대해 많은 정보를 가지고 있지만 소비자는 정보가 부족한 상태이다. 이러한 정보의 비대칭성은 탄소시장 참여자 간 불신을 야기할 수밖에 없다. 따라서 크레디트 인증 방법론이나 발행 조건을 엄격하게 규정하는 것만으로는 그린워싱 이슈가 해결되지 않을 것이다. 오히려 객관적인 정보를 투명하게 공개하여 탄소 감축 성과가 어떻게 나타나는지 시장 참여자들이 직접 확인할 수 있게 만드는 노력이 필요하다.

첨단 기술도 산림 관련 크레디트 신뢰성을 회복하는 데 도움을 줄 수 있다. 예를 들어, 위성 영상을 AI로 분석하여 탄소 크레디트 산출에 반영하거나 블록체인 기술로 데이터 보안성을 강화할 수 있다. 또한 IT 기술을 활용하면 산림 기반 크레디트 정보를 사람들에게 실시간으로 제공해주는 시스템을 만들 수도 있다. 이러한 노력은 시장의 투명성뿐만 아니라 산림 경영의 고도화와 효율성 제고 차원에서도 중요하다.

탄소 감축 성과는 과학적 기준에 의해서만 측정되는 절댓값이 아니다. 어디까지 탄소 감축 성과로 인정해야 하는지, 어떤 행위가 그린워싱에 해당하는지 등은 모두 사회적 합의를 통해 결정할 부분

7. Sylvera, “The State of Carbon Credits 2023”, October 18, 2023, https://www.sylvera.com/blog/the-state-of-carbon-credits-2023.
8. Greenfield, P., “Revealed: more than 90% of rainforest carbon offsets by biggest certifier are worthless, analysis shows”, <The Guardian>, January 18, 2023, https://www.theguardian.com/environment/2023/jan/18/revealed-forest-carbon-offsets-biggest-provider-worthless-verra-aoe.

이다. 이런 점에서 그린워싱 문제도 크레디트 공급자와 소비자 간, 또 전문가와 대중 간 적극적인 소통이 있어야만 불식시킬 수 있다. 게다가 자발적 탄소시장에 참여할 수 있는 기회는 많은 이에게 열려 있으므로, 적절한 경제 정책을 통해 탄소 크레디트 투자 및 구매에 일반 시민이 직접 참여하도록 유인할 필요가 있다. 여기에 더하여 EPC와 같은 민간 주도 메커니즘이 자발적 탄소시장 특유의 다양성과 유연성을 강화하는 데 기여할 수 있을 것이다.

3-6.
토론

> 2024년 4월 5일은 제79회 식목일이었습니다. 2006년부터는 휴일에서 제외되었지만 여전히 법정 기념일이고, 전국적으로 나무 심기 행사도 식목일 전후로 많이 열립니다. 79년 전 식목일 제정 당시와 오늘날 우리나라 기후가 많이 달라졌을 텐데, 여전히 4월 5일이 식목일로 적합한가요? 식목일을 3월 정도로 변경하자는 의견도 있는데 이에 대해서 어떻게 생각하세요?

김래현: 식목일 변경 문제는 생육 환경 변화와 관련 있습니다. 기후변화로 인해 기온이나 강수량 등이 달라져서 나무 심기에 3월이 더 적합하다는 의견이 나온 것이죠. 과학적인 모니터링을 통해서 생육 환경 변화에 대한 자료가 쌓이고 있고, 이를 바탕으로 나무의 생장 관점에서는 식목일을 앞당겨도 될 것이라고 국립산림과학원뿐만 아니라 여러 학자들도 계속 얘기를 합니다. 하지만 식목일은 국가적으로 지정한 날이기 때문에 변경 문제는 과학보다는 정책의 영역에 남아 있다고 생각합니다.

손요환: 나무 생장만 놓고 보면 기후변화 영향으로 식목일을 앞당겨도 크게 문제없지만, 국가에서 정한 법정 기념일이기 때문에 정책적 판단이 필요한 단계이고, 이런 점을 산림청에서도 고민하고 있는 것 같습니다.

> 탄소 흡수량과 저장량은 산림이 가진 가치를 판단하는 데 매우 중요합니다. 그런데 우리가 그것을 정량화하는 계산 방식이 국제적으로 표준화된 것인지, 아니면 국가별로 다른 방법을 사용하고 있는지 궁금합니다. 만약 국가별로 다른 측정 방식을 사용한다면 문제는 없을까요?



김래현: 현재 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 가입되어 파리협정 이행을 위해 NDC를 제출한 모든 국가는 동일한 방법론으로 온실가스 배출량을 평가해서 보고해야 합니다. 기준은 '국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인'입니다. 보고 분야나 배출량 산정 방식에 대한 기본 지침이 담겨 있습니다. 서로 합의된 동일한 방법론으로 보고를 해야 일관성을 확보할 수 있고, 국가별 비교 등 정확한 통계적 평가가 가능하겠죠. 만약 다른 방법론을 적용한다면 각국의 NDC 달성 여부를 평가하기 어려울 겁니다. 다만, 국가들의 방법론은 국가가 확보하고 있는 활동자료(통계)와 국가별로 개발하여 적용하는 배출계수에 따라 조금씩 차이가 발생할 수 있습니다. 200여 개나 되는 국가가 모두 동일한 수준의 보고를 할 수 없기 때문에 파리협정에서 유연성도 제공하고 있습니다. 참고로, 2024년 말까지 제출해야 하는 첫 번째 '격년 투명성 보고서(Biennial Transparency Report, BTR)'는 아직 다 취합되지 않아서 국가별 차이를 지금은 파악할 수 없습니다.

> 탄소 흡수량 측정 등 산림 가치 정량화에 인공위성이나 AI 같은 첨단 기술이 어떻게 기여하고 있는지 보여주는 사례가 있을까요? 나아가 산림 관리나 가치 평가 고도화를 위해 앞으로 어떤 노력이 더 필요할까요?

이수경: 우리나라에서는 상업 프로젝트보다는 구상나무의 쇠퇴지 분석 등 생태계 변화를 연구하는 데에 위성과 AI 기술을 활용하고 있습니다. 탄소시장에 보다 적극적인 미국이나 유럽에서 한국 기술에 관심을 갖고 꾸준히 제안이 오고 있어서 앞으로 기회가 더 열릴 것이라고 기대합니다. AI 위성 영상 분석 분야의 과제 중 하나는 해상도를 높이는 것입니다. 여기에는 양질의 데이터가 많이 필요하죠. 이런 측면에서 정부나 학계로부터 공공 데이터를 좀 더 쉽게 확보할 수 있다면 기술 고도화를 이루는 데 도움이 될 겁니다.

그린워싱(greenwashing) 논란이 산림이 가지고 있는 절대 가치를 퇴색시키는 방향으로 흘러가는 게 아닌가 걱정입니다. 이런 측면에서 위성 영상, AI 기술로 정확한 정보를 제공하는 것이 의심과 오해를 해결하는 데 기여할 수 있을 것입니다. 앞으로 투자도 활발해지고 관련 기업이 많이 참여해서 기술 고도화를 이루면 좋겠습니다. 더 나아가 산림 기술이 전문가의 인정을 받고 시장에 적용되는 데에 그치지 않고, 기후변화 대응이라는 거대 담론 속에서 사람들의 인식을 변화시키는 실질적인 역할을 할 수 있다고 생각합니다.

> **기후 위기 대응을 위해서는 탄소시장 외에 비(非)시장 메커니즘을 활성화하는 전략도 중요합니다. 비시장 메커니즘 중 개도국 산림에 대한 공적개발원조(ODA) 사업이 최근 주목받고 있는데, 그 배경이 무엇일까요?**

김정인: 지금까지 ODA 사업은 물 보급이나 교량 건설 위주였고, 대규모 투자가 필요하다 보니 무상원조 외에도 수원국이 대외경제협력기금(Economic Development Cooperation Fund, EDCF)에서 차관을 받는 유상원조 방식도 취했습니다. 그런데 ODA 사업의 순수한 목적은 현지화, 장기화를 통한 수원국의 지속가능한 발전입니다. 산림은 바로 이런 ODA 목적에 부합하는 분야입니다. ODA 사업으로 산림 파괴도 막으면서 지역 일자리도 창출하고, 지속가능성을 높일 수 있기 때문입니다. 그리고 기후변화 대응에 기여할 수 있죠. 이런 이유로 세계 각국에서 ODA 사업 방향성을 수정하면서 산림 분야를 확대하고 있습니다. 한 예로 일본국제협력기구(Japan International Cooperation Agency, JICA)에서도 산림에 많은 관심을 갖고 투자 중입니다.

손요환: 앞으로 우리나라도 ODA 규모를 확대할 계획이 있습니다. NDC에 산림을 활용한 국외 감축 실적을 잘 반영할 수 있도록 제도와 장치를 마련하는 실행력이 필요해 보입니다.

사회적가치연구원에서 연구 중인 환경보호크레디트(EPC)는 상용화 이전 기술이 가진 탄소 감축 잠재력에 대한 민간 투자를 유도하는 전략입니다. EPC 제도 도입에 앞서 잠재적 탄소 감축량을 정확하게 추정하는 방법론이 필요해 보이는데, 어떻게 해야 신뢰를 확보할 수 있을까요?

오준환: 결론부터 말씀드리면 아직은 매우 어렵습니다. 이미 발생한 탄소 성과를 크레디트로 인정받는 것조차 어려운 것이 자발적 탄소시장(VCM)의 현실입니다. 아직 발생하지 않은 가치를 인정받는 것은 더더욱 어렵죠. 잠재력에 대한 논의에 앞서 탄소 감축을 어떻게 정의하고 측정할 것인지 초기 단계 소통부터 잘 이루어져야 한다고 생각합니다. 최근 그린워싱, 탄소 감축, 탄소시장 같은 단어가 많이 쓰이긴 하지만 실질적으로 탄소 감축을 얼만큼 해야 하는지, 감축량을 측정하기 위해서 어떤 방법론을 사용했을 때 그 예측력은 어떻게 되는지에 대한 이해가 아직 부족합니다.

이 부분을 해결하기 위한 국제사회의 움직임은 이미 나타나고 있습니다. 예를 들어 미국에서 2018년 시작된 '크레인(CRANE)'이라는 프로젝트가 있습니다. 투자자들이 초기 단계 기업의 잠재적 탄소 감축 기여도를 평가할 수 있는 방법론을 제공하고 있죠. 빌 게이츠가 설립한 기후테크 투자사 브레이크스루에너지벤처스(Breakthrough Energy Ventures)도 이 방법론을 사용하고 있습니다. 최근에는 '프로젝트 프레임(Project Frame)'이라는 보다 확대된 커뮤니티도 생겼습니다. 사회적가치연구원도 여기에 참여해서 잠재적 감축량 측정에 대한 모델을 개발하고 있습니다. 단순히 감축을 숫자로 얘기하는 것이 아니라, 어떻게 추정했는지, 어떤 변수들을 사용했고 데이터는 어떻게 수집했는지에 대해 서로 논의를 합니다.

신뢰를 쌓는 것은 결국 소통의 문제입니다. 그린워싱인지 아닌지를 따지는 것을 넘어서 탄소 성과를 어떻게 측정하고 인정할 것인가에 대한 본원적인 얘기가 좀 더 편하게 오갈 수 있는 환경이 조성되어야 하죠. 전문가뿐 아니라 사회 전반에 걸쳐 이런 소통이 가능했으면 좋겠습니다.

산림 활용 같은 자연기반해법 말고 기후 위기를 막는 공학적 해법에는 어떤 것들이 있나요? 가능성 높은 기술이 등장한다면 더 많은 자본이 기후테크에 투입되어 선순환을 만들 수 있을 텐데, 아직 그 단계에 이르지 못한 것 같습니다. 기후테크 발전을 위한 과학계의 노력이 어떻게 하면 결실을 맺을 수 있을까요?

김정인: 다양한 기후 관련 기술들이 나오고 있습니다. 예를 들어 탄소직접포집(direct air capture, DAC)은 공기 중 탄소를 직접 포집하는 기술이고, 초기 단계이긴 하지만 탄소포집·활용·저장(carbon capture, utilization and storage, CCUS), 탄소포집·저장(carbon capture and storage, CCS) 기술도 있습니다. 제조나 처리 공정을 획기적으로 전환하려는 움직임도 있죠. 건축물 쪽에서는 IT, AI 기술을 적용하면 에너지 효율을 20~40% 개선할 수 있다고 보고 있습니다. 이런 것들이 모여서 기후 위기를 막는 해법을 제공할 수 있습니다. 저는 개인적으로 사회적 의지와 재정이 뒷받침되어야 한다고 생각합니다. 특히 홍보와 교육을 통해 국민 인식을 전환할 필요도 있죠. 기술 개발에 더해 이런 다각적인 노력이 이루어지면 기후 위기를 막는 해법이 틀림없이 나올 겁니다.

손요환: 기후변화 관련해서 이미 시행 중인 법이 꽤 있습니다. 다만 아주 강력한 실행력이나 재정 지원 체계와 함께 작동하지 않아서 우리가 잘 체감하지 못할 뿐이죠. 기후변화 대응 해법이 효과를 거두려면 과학계는 물론이고 국회를 비롯한 정책 전문가의 협력이 필요합니다. 또 무엇보다도 미래 세대를 위해서 기후변화 대응의 중요성을 인식하고 행동을 요구하는, 깨어 있는 시민 의식이 기반이 되어야 하겠습니다.

> **우리나라는 국토 대비 산림 비율이 63%로 OECD 국가 중 4위인 반면, 고령화로 탄소흡수율이 떨어진 상태이며 목재 자급률도 15%에 불과합니다[1]. 가지고 있는 나무는 많은데 제대로 활용하지 못하고 있다는 뜻으로 들립니다. 단순히 보유한 나무를 잘 베고 필요한 나무는 심으면 될 텐데, 벌목에 대한 부정적 인식 때문인지 베고 심는 게 간단한 문제가 아닌가 봅니다. 목재 자급률을 높일 수 있는 방법이 무엇인지, 또 어떻게 높이는 것이 바람직한 것인지 궁금합니다.**

손요환: 우리나라 숲이 고령화됐다는 것은 통계상 명확히 드러납니다. 심고 가꾸고 베는 순환형 임업이 필요한데 아직까지 많은 국민이 벌채가 환경에 부정적인 영향을 줄 것이라는 인식을 갖고 있습니다. 실제로 토사 유출이나 생물다양성 훼손 같은 부작용을 일으킬 가능성도 있어요. 따라서 부작용을 최소화하는 과학적인 벌채 방법이 필요하고, 부정적 인식을 줄일 수 있도록 충분한 정보 공유도 이루어져야 하겠습니다.

1. 강경석 외, "'늙은 나무' 77%… 한국, 숲도 고령화", <동아일보>, 2024년 4월 4일, https://www.donga.com/news/Society/article/all/20240401/124249962/1.

우리나라는 지금 목재의 85%를 수입에 의존합니다. 우리나라에서 생산되는 목재 중 건축재와 같이 대형목으로 사용할 수 있는 것은 많지 않지만, 그 외 다른 용도로 쓸 수 있는 것은 꽤 많습니다. 그동안 나무를 많이 키웠기 때문에 대형재로 쓸 수 있는 나무들도 점차 늘고 있어서, 앞으로 목재 자급률을 더 높일 수 있다고 생각합니다.



손요환 고려대학교 환경생태공학부 교수



김정인 중앙대학교 경제학부 명예교수



김래현 국립산림과학원 국제산림연구과 연구관



이수경 다비오 신사업전략그룹 이사



오준환 사회적가치연구원(CSES) V-Lab 실장

CHAPTER

4

편집자 덧말



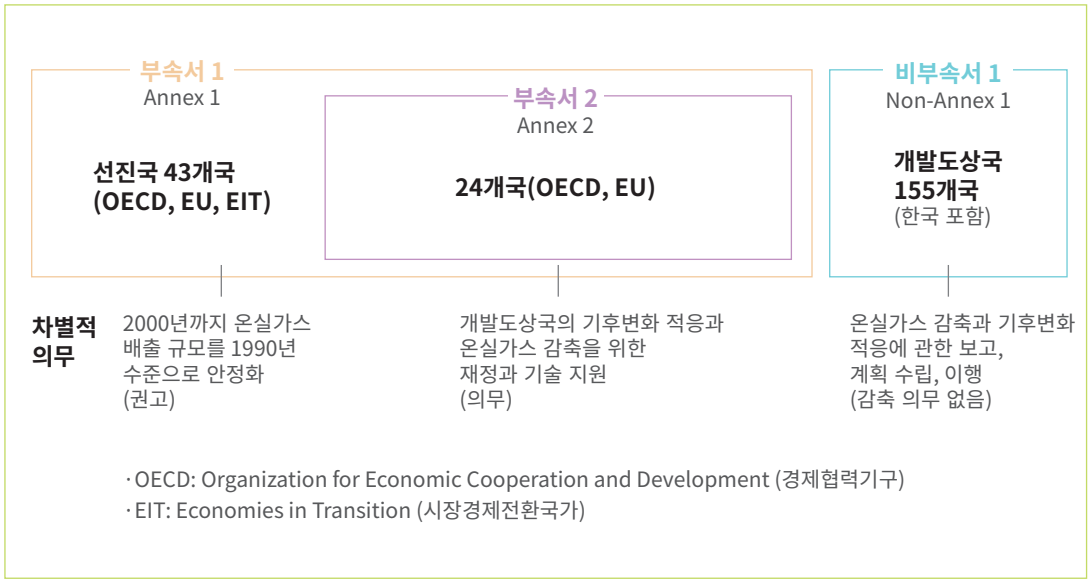
기후변화 대응 30년, 앞으로의 과제는?

정민선, 박유원 최종현학술원 과학혁신1팀

기후변화 대응 전략, 누가 어떻게 정하나?

기록적인 폭염, 대형 산불, 폭우, 폭설, 한파 등 기후변화의 심각성을 느끼게 하는 소식이 연일 등장한다. 우리가 직면한 상황은 기후 '변화' 정도가 아니라 기후 '위기' 혹은 '재난'에 더 가까울지 모른다. 그동안 국제사회가 손 놓고 있던 건 아니다. 1988년 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)가 출범하여 기후변화 원인과 영향을 과학적으로 평가하기 시작했고, 1992년에는 대기 중 온실가스 농도 안정화를 목표로 하는 '기후변화에 관한 국제연합 기본협약(UN Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)'이 채택되었다. 맨 처음 UNFCCC에 서명한 당사국(party) 수는 155개, 지금은 숫자가 늘어 총 198개 당사국이 함께하고 있다. UNFCCC 당사국은 부속서 1(Annex 1), 부속서 2(Annex 2), 비(非)부속서 1(non-Annex 1)로 나뉘어, 협약 채택 당시 기준으로 차별적 지위를 갖는다(그림 1).

UNFCCC는 말 그대로 기본 협약이다. 국제사회의 공통 목표와 약속을 큰 틀에서 명문화한 것이지, 구체적인 방법론을 정하는 건 다른 문제다. UNFCCC 이행을 위한 세부 지침을 마련하고 감독하는 최고 의사 결정 기구는 당사국총회(Conference of the Parties, COP)로서, 2023년까지 총 23 차례(COP1~COP23) 열렸다. COP 결과는 전 세계 기후변화 대응의 실질적인 표준이 되며, 새로운 협약 탄생으로 이어지기도 한다.



| 그림 1 | **UNFCCC 당사국 지위**(출처=UNFCCC, https://unfccc.int/)

예컨대, 1997년 COP3에서 채택한 교토의정서(Kyoto Protocol)는 온실가스 배출에 역사적 책임이 있는 선진국에게 감축 의무를 부여한다는 UNFCCC의 기본 원칙을 구체화한 것이다(그림 2). 교토의정서는 6대 온실가스—이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 이산화질소(NO_2), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF_6)—를 정의하고, 선진국의 의무 감축량을 수치로 규정했다. 또한 감축 이행 방법으로 시장 메커니즘을 도입하여 탄소시장이 형성될 수 있는 발판을 마련했다. 하지만 부담을 느낀 선진국의 반발로 교토의정서 이행은 난항을 겪었다. 웬만한 선진국보다 온실가스 배출량에서 앞서는 중국과 인도가 비부속서 1로 분류되어 감축 의무를 지지 않는다는 비판도 있었다. 결국 2001년 미국을 시작으로 일본, 캐나다, 러시아 등이 줄줄이 탈퇴하면서, 법적 효력 기한인 2020년이 오기도 전에 교토의정서는 유명무실 상태가 되었다.

교토의정서를 대체해 새로운 표준으로 자리잡은 건 2015년 COP21에서 채택한 파리협정(Paris Agreement)이다(그림 2). 총 195개 당사국(194개국과 EU)이 지구 평균 온도 상승을 2 °C 아래로 억제하고, 1.5 °C를 넘지 않도록 노력하자고 합의했다. 신기후체제(new climate regime)라고도 불리는 파리협정 체제(Paris climate regime)는 선진국과 개발도상국 구분 없이 모든 당사국의 참여를 강조한다. 교토의정서의 하향식(top-down) 감축 목표가 가진 한계를 극복하고 자발적 참여 동기를 높이기 위해, 파리협정은 국가결정기여(nationally determined contribution, NDC)라는 상향식(bottom-up) 방식을 도입했다. 탄소중립(carbon neutrality)을 선언하는 것도, 탄소중립 달성 시기와 계획을 세우는 것도 당사국 스스로 결정하면 된다. 이렇게 강제성은 없지만 윤리

적 책임 의식과 동조 압력(peer pressure)에 힘입어 지금까지 193개 당사국이 NDC를 제출했다[1].

	교토의정서 Kyoto Protocol	파리협정 Paris Agreement
채택일	1997년 12월 11일 (COP3)	2015년 12월 12일 (COP21)
발효일	2005년 2월 16일	2016년 11월 4일
적용 시기	· 1차 공약기간: 2008~2012년 · 2차 공약기간: 2013~2020년	2021년~
주요 특징	· 감축 대상으로 6대 온실가스 정의 · 선진국 의무 감축 목표 하향식 부여	· 선진국과 개발도상국 구분 없이 모든 당사 국이 감축에 참여 · 국가결정기여(NDC)를 통해 당사국 스스로 감축 목표를 설정하는 상향식 의사결정

| 그림 2 | 교토의정서 vs. 파리협정

파리협정이 교토의정서를 완전히 무의미하게 만든 건 아니다. 시장 메커니즘은 교토의정서로부터 이어져 파리협정 체제에서도 진화하고 있다. 파리협정은 제6조로써 시장 메커니즘을 온실가스 감축 수단으로 인정한다. 각 당사국이 NDC를 달성함에 있어서 탄소 배출권 거래나 국가 간 협력 등 다양한 방법을 유연하게 동원할 수 있다는 뜻이다. 또한 파리협정은 교토의정서와 마찬가지로 투명성(transparency)을 중요한 원칙으로 삼고 있다. 온실가스 감축 성과 같은 기후변화 대응 활동을 객관적으로 검증하고 평가해 당사국끼리 신뢰할 수 있게 만들겠다는 것이다. 이러한 유연성과 투명성은 당사국의 참여 동기를 높이고 국제 공조를 원활하게 하는 기반이다.

협상, 협상, 다시 협상…

UNFCCC 채택 후 30년이 넘는 시간이 흘렀다. 국제사회는 당초 세웠던 공동 목표에 잘 다가가고 있을까? 한 가지 주목할 점은 UNFCCC 안에서 이루어지는 모든 합의는 절대 불변이 아니며, 법적 구속력이나 강제성이 없다는 것이다. 그래서 협약에 서명을 하지 않거나 서명 후 비준

1. UN Climate Change Secretariat, “COP26: Update to the NDC Synthesis Report”, November 4, 2021, https://unfccc.int/news/cop26-update-to-the-ndc-synthesis-report.

(ratification)[2]을 하지 않더라도, 혹은 여러 당사국이 비준하여 협약이 발효(entry into force)된 이후에 이행을 거부하더라도 제재하기 어렵다. 교토의정서의 경우, 미국은 서명 이후 국내법상 문제가 있다며 비준하지 않았고, 일본은 비준까지 마쳤으나 2011년 후쿠시마 사고 여파로 2차 공약 기간에 불참했다. 러시아, 캐나다, 뉴질랜드도 2차 공약 기간에서 발을 뺐다[3]. 파리협정 체제에 들어서는 국제 공조가 상대적으로 원활했으나, 미국이 트럼프 재임 시절인 2020년 공식 탈퇴했다가 2021년 바이든 집권 후 복귀하는 진통을 앓았다.

최대한 많은 당사국을 참여 상태로 만들었다고 해도 끝이 아니다. 파리협정은 2015년 12월에 채택, 2016년 11월 발효되었다. 교토의정서가 채택에서 발효까지 8년이나 걸린 것에 비하면 빠른 속도이다. 다만 발효 이후 세부이행규칙(Paris Rulebook) 완성까지 6년이라는 시간이 걸렸다. 목표 시점이었던 2018년 COP24에서 감축(제4조), 적응(제7조), 기후 재원(제9조), 기술 개발 및 이전(제10조), 기후 행동 강화(제12조), 투명성 체계(제13조), 전지구적 이행 점검(제14조), 이행 준수 위원회(제15조) 등 8개 분야 16개 지침을 우선 채택했고, 국제 탄소시장(제6조) 관련 지침은 추가 협상을 거쳐 2021년 COP26에서 마무리하였다[4].

당사국 간 후속 협상이 이렇게 오래 걸리는 이유가 무엇일까? 기본적으로 선진국과 개발도상국은 입장이 다르다. 예를 들어, 선진국은 1992년 UNFCCC 채택 당시 설정했던 선진국과 개발도상국 간 지위 차이를 축소하려고 노력하면서, 모든 당사국이 감축(제4조)에 적극적으로 참여할 것을 강조해 왔다. 반면, 개발도상국은 감축보다 기후변화 적응(제7조)이 시급하며, 감축과 적응 모두 선진국의 재정 지원(제9조)이 뒷받침되어야 가능하다는 입장이다. 이 밖에도 지리적 여건, 석유 수출 여부, 화석연료 의존도, 과거부터 현재까지 온실가스 배출량 변화 등에 따라 각 당사국은 파리협정 조항 간 우선순위와 조항별 이행 방법에 대해 다른 셈법을 가질 수밖에 없다.

매년 개최하는 COP에서는 자국에게 유리한 결과를 얻기 위한 협상 전쟁이 벌어진다. 이견을 좁히지 못한 안건은 다음 COP으로 넘어가며, 치열한 협상 끝에 폐막 직전이나 공식 일정을 넘겨 극

2. 정부 대표가 서명한 조약을 조약 체결권자(한국의 경우 대통령) 또는 조약 체결권자로부터 비준의 권한을 위임받은 자가 확인함으로써 국가의 기속적 동의를 최종적으로 표시하는 행위.
3. 이혜인, “교토의정서 2020년까지 연장…배출 4대국 불참 ‘빈껍데기’ 전락”, <경향신문>, 2012년 12월 9일, https://www.khan.co.kr/article/201212092141595.
4. 외교부 외, “제26차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP26) 폐막”, 2021년 11월 13일, https://www.mofa.go.kr/viewer/skin/doc.html?fn=20211117113730780.hwp&rs=/viewer/result/202410.

적 합의를 이룬 경우도 있다. 문구 하나를 두고 논쟁이 벌어지는 일도 흔하다. 가장 최근에 열린 COP28에서는 최종 합의문에 화석연료 사용을 줄이는 행위를 어떻게 표현할지가 쟁점이었다. 미국과 EU, 기후변화 취약국 포함 100여 개가 넘는 당사국이 '단계적 퇴출(phase out)'이라는 표현에 찬성했으나, 산유국인 사우디아라비아와 이란, 화석연료 의존도가 높은 러시아, 중국, 인도 등의 반대에 부딪혔다. 결국 '화석연료로부터 벗어나는 전환(transitioning away from fossil fuel[5])'이라는 완화된 표현이 합의문에 담겼다.

기후변화 대응을 둘러싼 각국의 셈법이 복잡한 만큼, 국제적 연대 속에서 자국의 부담을 최소화하고 이익을 극대화하기 위한 협상 기술이 중요하다. 기후외교(climate diplomacy)라는 말이 괜히 있는 게 아니다. 오늘날 대부분의 당사국은 1개 이상의 연합체, 즉 '협상 블록(negotiating bloc)'에 속한 상태에서 회의에 나선다[6](그림 3). 이해관계에 따라 선진국끼리, 개발도상국끼리, 혹은 도서(島嶼)국가끼리 다양하게 연합하며, 상황이 달라지면 블록 구성이 바뀌거나 블록끼리 다시 연합하는 경우도 있다. 우리나라는 멕시코, 리히텐슈타인, 모나코, 스위스, 조지아와 함께 환경건전성그룹(Environmental Integrity Group, EIG)을 결성하고, 선진국과 개발도상국 간 교량 역할을 자처하고 있다[7].

협상 블록은 온실가스 배출량이 적으면서도 기후변화의 직격탄을 맞는 기후변화 취약국이 COP 협상에서 목소리를 강화하는 수단이었다. 예를 들어, 선진국 지원으로 개발도상국 산림 전용과 황폐화 문제를 개선하는 REDD+[8]는 열대우림국가연합(Coalition for Rainforest Nations, CfRN) 제안으로 논의가 시작됐으며[9], 해수면 상승으로 국가 존폐 위기에 놓인 군소도서개발국(Small Island Developing States, SIDS)의 파리협정 참여가 1.5 °C 목표를 협정문에 명시하는 데 주요하게 작

5. European Commission, "COP28: Overall outcome & EU reactions", January 24, 2024, https://ec.europa.eu/social/main.jsp?langId=en&catId=89&furtherNews=yes&newsId=10741.
6. UN Climate Change Secretariat, "Party Groupings", https://unfccc.int/process-and-meetings/parties-non-party-stakeholders/parties/party-groupings.
7. 강한들, "COP27 '손실과 피해' 대책…한국은 어느 쪽에 섰을까", <경향신문>, 2022년 11월 20일, https://www.khan.co.kr/environment/environment-general/article/202211201706001.
8. Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation (REDD) and the role of conservation, sustainable management of forests, and enhancement of forest carbon stocks in developing countries. 개도국의 산림전용과 황폐화 방지뿐 아니라, 산림 보존, 지속가능한 산림경영, 산림 탄소축적 증진을 통해 온실가스 배출을 줄이는 활동. (출처: 김래현 외, 『2023 쉽게 이해하는 REDD+ 설명집』, 산림청, 2022년 12월.)
9. 윤평화, 『REDD+ 체제 구축과 이행』, 세계농업 제180호, 2015년 8월, https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=TRKO201600001501&dbt=TRKO&rn=.

용했다[10]. 그런데 앞서 언급한 COP28 합의문에서는 기후변화 취약국의 주장이 관철되지 않았다. 화석연료의 '단계적 퇴출(phase out)'이라는 표현을 지지했던 군소도서국가연합(Alliance of Small Island States, AOSIS)[11] 대표단이 회의장에 없는 사이, 이들을 배제한 채 최종 합의가 이뤄진 것이다[12]. 이에 의장국 아랍에미레이트를 비롯한 산유국 입김이 작용한 게 아니냐는 비판이 있었다. UNFCCC도 다자 간 협정이 기본적으로 가지고 있는 죄수의 딜레마(Prisoner's Dilemma)에서 자유로울 수 없기에, 신뢰와 불신 사이에서 묘한 줄타기가 펼쳐지는 형국이다.

협상 블록 Negotiating Bloc	특징	참여국
우산 그룹 Umbrella Group	선진국, 개도국 포함 모든 당사국의 참여와 책임 분담 강조	미국, 캐나다, 호주, 일본, 노르웨이, 이스라엘 등
유럽연합 European Union		유럽연합 소속 국가
환경건전성그룹 Environmental Integrity Group		멕시코, 리히텐슈타인, 모나코, 한국, 스위스, 조지아
군소도서개발국 Small Island Developing States		싱가포르, 자메이카, 수리남, 도미니카공화국, 아이티 등
아프리카 그룹 African Group	선진국 책임 강조	르완다, 리비아, 마다가스카르, 에티오피아, 우간다, 이집트, 콩고 등
LDC 그룹 Least Developed Countries		말라위, 잠비아, 소말리아, 수단 등
아랍국가연맹 Arab States		사우디아라비아, UAE, 쿠웨이트, 레바논, 리비아, 알제리아, 바레인 등

| 그림 3 | 기후변화 협상 블록

10. 환경부, 『파리협정길라잡이』, 2016년5월, https://www.water.or.kr/upload/board/2022/11/20221107163644_1.pdf.
11. 39개의 작은 섬나라로 이뤄진 대표적인 기후변화 취약국 연합.
12. 손영호, "기후취약 39개국 COP28 최종합의 배제, 도서국가 "회담장 입장 전에 결정"", <비즈니스포스트>, 2023년 12월 14일, https://www.businesspost.co.kr/BP?command=article_view&num=336188.

기후 재원, COP29 최우선 과제

파리협정 체제는 이제 세부이행규칙 완성 후, 추가 쟁점을 정리하는 단계에 와 있다. 앞으로 남은 협상 과제는 무엇일까? 먼저, 기후 재원에 관한 새로운 목표를 합의해야 한다. UNFCCC 안에서 논의하는 기후 재원은 선진국이 개발도상국을 지원하기 위한 자금을 의미한다[13]. UNFCCC 협약문 제4조에는 부속서 2 당사국의 비용 부담 의무가 명시되어 있다[14]. 그리고 제11조와 제22조에 근거해 기후 재원 운용은 UNFCCC 체결 전부터 존재하던 지구환경기금(Global Environment Facility, GEF)[15]이 위탁 받았다. GEF는 2001년부터 최빈국기금(Least Developed Countries Fund, LDCF)과 특별기후기금(Special Climate Change Fund, SCCF) 같은 특별 기금을 운용해오고 있다[16]. 교토의정서 이행을 위해 2007년 공식 출범한 적응기금(Adaptation Fund, AF)의 경우, LDCF나 SCCF처럼 직접 운용하지는 않지만, GEF가 사무국을 맡아 행정 업무를 지원한다[17]. 2010년에는 COP16 합의에 따라 녹색기후기금(Green Climate Fund, GCF)이 추가로 생겼다. 사무국이 인천 송도에 있어 한국과도 인연이 깊은 기금이다. GCF는 UNFCCC 산하 최대 규모 기후 기금이며, GEF와 상호 보완적인 역할을 한다.

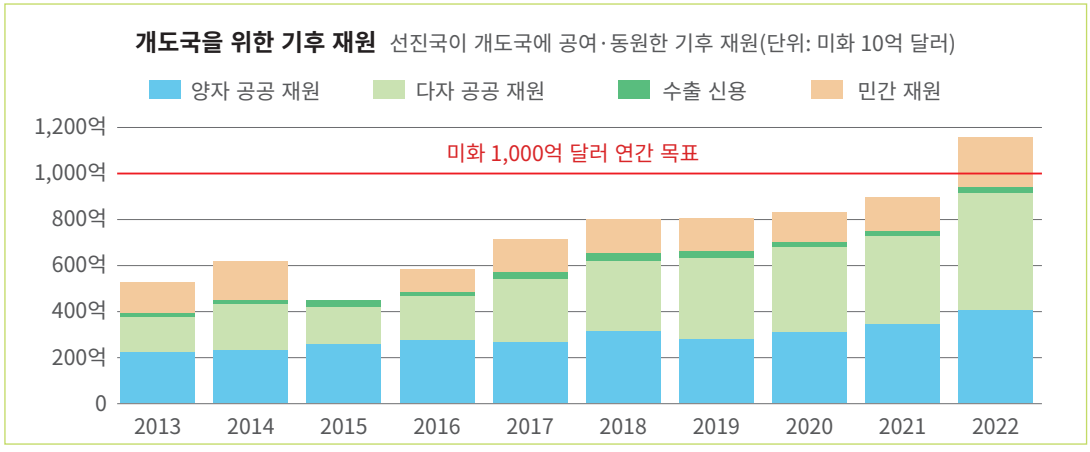
GEF, LDCF, SCCF, AF, GCF 모두 파리협정 채택 전 설치된 기금이고, 개발도상국의 기후변화 적응과 완화 활동을 돕는 것에 초점이 맞춰져 있다. 이와 달리, 2023년 COP28에서 새롭게 출범한 손실과 피해 기금(Loss and Damage Fund, LDF)은 기후변화로 인한 개발도상국의 경제적·비경제적 손실과 피해에 대한 보다 직접적인 보상을 목적으로 한다.가뭄과 폭염처럼 갑작스러운 기상 이변, 해수면 상승 같이 서서히 진행하는 기후 현상으로 인한 피해를 포괄적으로 복원, 재건, 재활하는 데 쓰일 예정이다[18,19]. 온실가스 배출의 역사적 책임을 선진국에게 요구해오던 개발도상국과, 개

13. UNFCCC와 관련 없이 비정부기구(non-governmental organization, NGO)나 민간 부문에서 지원하고 운용하는 기후 재원도 있다.
14. 법제처, 『기후변화에 관한 국제연합 기본협약(United Nations Framework Convention on Climate Change)』, 1992년 3월 21일.
15. 1991년 설립되어 현재 186개 회원국을 보유한 다자 간 기금. 생물다양성 감소, 기후변화, 환경오염 등에 필요한 자금을 지원한다. (출처: https://www.thegef.org)
16. Global Environment Facility, "Who We Are", https://www.thegef.org/who-we-are.
17. Global Environment Facility, "GEF and the Adaptation Fund", October 20, 2016, https://www.thegef.org/newsroom/news/gef-and-adaptation-fund.
18. Bhandari, P. et al, “What Is ‘Loss and Damage’ from Climate Change? 8 Key Questions, Answered”, February 26, 2024, https://www.wri.org/insights/loss-damage-climate-change.
19. 기획재정부, “손실과 피해 기금과 녹색기후기금 지원을 통해 국제사회에서 녹색 사다리 역할 수행”, 2024년 7월 9일, https://green.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156640154&pWise=sub&pWiseSub=J2.

발도상국에 대한 재정 지원이 과거 자신들의 배출에 대한 책임이나 배상 문제가 아니라고 선을 그어온 선진국이 LDF 출범에 합의한 것은 기후 재원이 새로운 국면에 접어들었다는 의미이다. 19개 선진국이 2024년 7월까지 7.92억 달러를 출연하기로 약속했고, 운용은 세계은행(World Bank)이 독립적으로 맡았다[20]. 기금 조달에 개발도상국이나 민간도 자발적으로 참여할 수 있는 구조이기 때문에, LDF는 기후 재원 다원화에 큰 역할을 할 것으로 기대를 모은다.

하지만, 아무리 새로운 기금을 추가하더라도 실제로 재원이 모이지 않으면 소용없다. 목적과 역할이 다른 여러 기금 간 중복을 피하면서 기후 재원 전반을 효율적으로 조달하고 분배하는 전략도 필요하다. 이런 점을 고려하여, 2024년 11월 열리는 COP29는 신규 기후 재원 목표(new collective quantified goal on climate finance, NCQG) 설정을 최우선 의제로 다룰 예정이다.

꽤 오랫동안 UNFCCC 내에서는 연간 1천억 달러 조달 목표가 화두였다. 2009년 COP15에서 선진국들이 개발도상국 지원을 위해 2020년까지 매년 최소 1천억 달러를 공동으로 마련하기로 합의했는데, 이 약속은 지켜지지 않았다. 파리협정을 채택하면서 목표 시점을 2025년으로 연장했고, 2025년 전 새로운 정량 목표, 즉 NCQG를 설정하기로 합의한 채 시간이 지났다[21]. 결국 2022년에 와서야 기후 원조 규모 1,159억 달러를 기록하면서 1천억 달러 목표를 최초 달성했다[22](그림 4).



| 그림 4 | 기후 재원 조달 추이(출처=OECD, https://www.oecd.org)

20. 각주 19와 동일.
21. UN Climate Change Secretariat, “From Billions to Trillions: Setting a New Goal on Climate Finance”, April 24, 2024, https://unfccc.int/news/from-billions-to-trillions-setting-a-new-goal-on-climate-finance.
22. OECD, “Climate Finance and the USD 100 billion goal”, https://www.oecd.org/en/topics/sub-issues/climate-finance-and-the-usd-100-billion-goal.html.

문제는 그 사이 필요한 기후 재원 규모도 크게 증가했다는 것이다. COP29 예비 회의에서 제안된 연간 조달 규모는 1조~1조 3,000억 달러이다[23]. 정량 목표 외에 기후 재원 공여국과 수혜국 범위 등도 COP29 쟁점이 될 전망이다.

기후테크가 바꿀 앞으로의 30년

COP29의 핵심 의제는 아니지만, 중장기 관점에서 노력을 기울여야 하는 분야가 있다. 바로 기후테크(climate technology)이다. UNFCCC에서는 온실가스 감축과 기후변화의 부정적인 영향에 적응하는 데에 기여하는 과학기술 일체를 기후테크로 정의한다. 감축(mitigation), 적응(adaptation), 감축·적응 융복합(mitigation·adaptation convergence) 등으로 분류하는데, 사실상 모든 산업 부문을 아우를 만큼 기후테크의 범주는 넓다[24](그림 5). 인류가 정말 다양한 경로로 온실가스를 배출하고 있다는 뜻이기도 하다.

대분류	중분류				소분류
감축	온실가스 저감	에너지 생산 & 공급	발전 & 전환	비재생 에너지	원자력 발전, 핵융합 발전, 청정화력 발전· 효율화
				재생 에너지	수력, 태양광, 태양열, 지열, 풍력, 해양에너지, 바이오에너지, 폐기물
				신에너지	수소제조, 연료전지
		에너지 저장 & 운송		에너지 저장	전력저장, 수소저장
				송배전 & 전력 IT	송배전 시스템, 전기지능화 기기
		에너지 수요			수송효율화, 산업효율화, 건축효율화
	온실가스 고정				CCUS, non-CO_2 저감
적응	농업 & 축산				유전자원 & 유전개량, 작물재배 & 생산, 가축질병관리, 가공, 저장 & 유통
	물관리				수계 & 수생태계, 수자원 확보 및 공급, 수처리, 수재해 관리
	기후변화예측 및 모니터링				기후 예측 및 모델링, 기후 정보 & 경보시스템
	해양, 수산 & 연안				해양생태계, 수산자원, 연안재해 관리

23. 김연지, “COP29, 기후금융이 뜨거운 감자…16개 그룹 의견 제각각”, <ESG경제>, 2024년 9월 2일, https://www.esgeconomy.com/news/articleView.html?idxno=7790.
24. 국가기후테크정보시스템, “기후테크 분류체계”, https://www.ctis.re.kr/ko/contents.do?key=1141.

대분류	중분류	소분류
적응	건강	감염 질병 관리, 식품 안전 예방
	산림 & 육상	산림 생산 증진, 산림 피해 저감, 생태 모니터링 & 복원
감축·적응 융복합	다분야 중첩	신재생에너지 하이브리드, 저전력 소모 장비, 에너지하베스팅, 인공광합성, 분류체계로 다루기 어려운 기후변화 관련 기타 기술

| 그림 5 | 기후테크 분류 체계

물론, 나무와 숲을 포함한 자연의 탄소 흡수·저장 능력을 활용하는 것은 가장 확실하고 안전한 기후변화 대응 전략이다. 생태계 회복력을 높이고, 인간과 자연이 건강한 상호작용을 통해 공존하는 방법도 찾아야 한다. 그러나 지금은 자연기반해법(nature-based solution, NbS)을 포함해 최대한 다양한 기후변화 억제 수단이 필요한 위기 상황이다. 역사적으로 산업화 기술이 온실가스 배출 주범이 돼 버린 건 맞지만, 앞으로는 기술과 산업을 감축과 기후변화 대응에 어떻게 활용할지 고민하는 것이 점점 더 중요해질 것이다.

COP28 합의문은 탄소중립을 위해 재생에너지를 비롯해 원자력, 수소, 탄소포집·활용·저장(carbon capture, utilization, and storage, CCUS) 등 무탄소(carbon-free) 혹은 저탄소(low-carbon) 에너지 기술을 총체적으로 활용해야 한다고 강조한다[25]. 이전까지는 안전과 핵 폐기물 문제 때문에 원자력 발전을 저탄소 에너지원으로 인정할 수 없다는 목소리가 힘을 발휘했는데, COP28에서 원자력 발전 필요성에 대해 국제적 공감대가 형성된 것에서 절박한 현실 인식이 엿보인다[26].

CCUS는 화석연료 연소 과정에서 발생하는 탄소를 포집(capture)하여 유용한 물질로 활용(utilization)하거나 안전하게 저장(storage)하는 기술이다. 화학 용매로 배기 가스에 포함된 이산화탄소를 녹여내거나, 아예 연소 전에 연료를 기체로 만들어 이산화탄소와 수소로 분리한 후 수소만 사용하는 방법 등이 있다[27]. 철강이나 시멘트 같이 온실가스 직접 감축이 어려운 산업 부문에서

25. 양의석, "원전·수소 등 '무탄소에너지' 활용해야 탄소중립 실현 가능", <한국경제>, 2024년 3월 18일, https://n.news.naver.com/mnews/article/015/0004961283?sid=101.
26. 박상현, "이회성 前 IPCC 의장 "COP28 핵심은 '원전' 언급…기후변화史 변곡점"", <조선일보>, 2023년 12월 18일, https://n.news.naver.com/mnews/article/023/0003805467?sid=102.
27. KOTRA, "일론 머스크도 찾는 탄소포집(CCUS)기술이란?", 2021년 2월 10일, https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?MENU_ID=110&pNttSn=187066.

CCUS 역할을 기대해 볼만 하다[28]. CCUS가 산업 공정이나 발전소에서 배출하는 탄소를 바로 처리하기 위한 기술이라면, 직접공기포집(direct air capture, DAC)은 고정된 배출원이 아니라 이미 대기 중에 퍼져 있는 다양한 배출원의 탄소를 처리하는 기술이다[29]. 엄청나게 큰 선풍기에 공기를 통과시켜 고체나 액체 흡착제로 이산화탄소를 분리해내는 원리이다. CCUS가 대규모 산업 시설 내부 설비로 적합하다면, DAC는 장소에 구애받지 않는다. 그러나, 설비 인프라 구축과 운영에 많은 비용이 들어 경제성이 떨어지는 게 DAC의 단점이다. 공장 굴뚝에서 나오는 배기 가스와 달리 대기는 매우 낮은 농도의 이산화탄소를 품고 있기 때문에 CCUS에 비해 DAC는 포집 효율이 낮다. CCUS나 DAC로 포집한 탄소는 지하 깊숙이 저장하거나, 합성 항공유, 건축 자재 등으로 전환할 수 있다.

국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)는 2070년까지 CCUS의 이산화탄소 누적 감축 기여율이 15%에 도달할 것으로 전망한다[30]. 문제는 경제성이다. 이산화탄소 1톤을 포집하는 데 드는 비용이 CCUS의 경우 최소 20~28 달러, DAC는 무려 1,100 달러에 이른다[31]. 여기에 운송과 저장까지 고려하면 비용 부담은 더 커진다. 고농도로 포집한 이산화탄소가 지하수나 토양에 어떤 영향을 끼치는지, 포집에서 운송, 저장까지 안전성을 어떻게 확보할지 등도 철저히 검증해야 한다[32]. 우리나라의 경우, 탄소를 저장할 물리적 공간이 절대적으로 부족하기 때문에, 국가 간 협약으로 해외 저장소를 확보해야 하는 과제도 있다. CCUS와 DAC 같이 연구개발 단계에 있는 인공 탄소 흡수원이 실질적인 탄소 감축 성과를 내기까지는 시간이 더 필요하다. 그 때까지 자연기반해법을 최대한 활용하면서, 기후테크 생태계를 넓히는 노력이 뒷받침되어야 할 것이다.

오늘날 기후테크는 인공지능(artificial intelligence, AI)과 결합해 거듭나는 중이다. 특히, 공간 정보 분석에 기반한 지오테크(geo-tech)는 기후변화 대응에 필요한 새로운 가치를 창출하는 분야이다. 인공위성이 촬영한 영상 빅데이터에 AI를 접목하면 기후변화 영향을 넓은 지역에 걸쳐 빠르고 정

28. Philis, M., “What is carbon capture and how much of a solution is it after COP28?”, <The Associated Press>, December 14, 2023, https://apnews.com/article/carbon-capture-removal-cop28-fossil-fuels-oil-gas-2bc53c6a8df6d337c1afcabad56377e8.
29. 주영재, “DAC(직접공기포집), 기후위기 해법 될 수 있을까”, <주간경향>, 2023년 8월 7일, https://m.weekly.khan.co.kr/view.html?med_id=weekly&artid=202307281107011&code=.
30. IEA, “CCUS in the transition to net-zero emissions”, https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions/ccus-in-the-transition-to-net-zero-emissions.
31. Casey, B., “CCUS Market Outlook 2023: Announced Capacity Soars by 50%”, BloombergNEF, November 9, 2023, https://about.bnef.com/blog/ccus-market-outlook-2023-announced-capacity-soars-by-50/.
32. 이정환, “탄소중립에서 CCUS 기대와 우려”, <에너지신문>, 2024년 1월 8일, https://www.energy-news.co.kr/news/articleView.html?idxno=92188.

밀하게 파악하고, 미래 상황까지 예측할 수 있다. 산림 면적 변화를 추적해 개발도상국의 산림 황폐화 방지에 도움을 주거나, 산림의 탄소 흡수량을 계산해 탄소 감축 성과를 정량적으로 평가하는 지표를 마련할 수도 있다.

기후변화 문제에 있어 AI 기술은 마치 동전의 양면과 같다. 기후변화 관측과 산림 활용에 도움을 주고 있지만, AI 수요가 급증하면서 데이터센터 같은 인프라가 막대한 전력을 소모하여 탄소중립에 악영향을 미칠 우려도 크기 때문이다[33]. 안타깝게도 온실가스를 배출하지 않고 필요한 전력을 충당할 방법을 인류는 아직 찾지 못했다. UNFCCC, 교토의정서, 파리협정 채택 당시에는 생각하기 힘들었던 AI라는 새로운 변수가 기후변화 대응 방정식을 더욱 복잡하게 만든 것이다. 에너지 문제 해결 없이는 탄소중립에 다가갈 방법이 없기 때문에, 무·저탄소 에너지원을 확보하고 산업 전반에서 에너지 효율을 높이기 위한 전략이 절실하다.

한국의 기후변화 리더십: 개발도상국에서 선진국으로

우리나라는 1992년 UNFCCC 채택 당시 개발도상국이었지만, 2021년 7월 유엔무역개발회의(UN Trade and Development, UNCTAD) 인정으로 선진국 반열에 올랐다[34]. 2024년 현재 기후변화 협상 무대에서 한국은 어떤 신분일까? 파리협정 체제도 UNFCCC의 기본 원칙 위에 있기 때문에, 공식적으로는 여전히 비부속서 1이다[35]. 그러나, 지난 30여 년 동안 성장한 만큼, 기후변화 대응이라는 과제 앞에 국제사회가 한국에게 갖는 기대는 점점 커지고 있다.

한국 스스로도 선진국다운 리더십을 발휘할 방안을 고민해야 할 때이다. 우리나라는 2015년 처음 NDC를 수립한 이후 수정을 거쳐, 2021년 상향안을 발표했다. 2030년까지 2018년 대비 40%를 감축하기로 결정했는데[36], EU, 미국, 일본 등 주요국과 비교해도 매우 도전적인 목표이다[37]. 기후 재

33. 이홍근, “세계 AI·가상자산 전력 사용량, 한국 전체 규모와 비등…탄소중립과 멀어”, <경향신문>, 2024년 6월 24일, https://www.khan.co.kr/national/national-general/article/202406240600025.
34. 대한민국 정책브리핑, “대한민국, 유엔무역개발회의(UNCTAD) 선진국 그룹 진출”, 2022년 1월 14일, https://www.korea.kr/special/policyCurationView.do?newsId=148898074#policyCuration.
35. UN Climate Change Secretariat, “Republic of Korea”, https://unfccc.int/node/61147.
36. 외교부, “기후변화협상”, https://www.mofa.go.kr/www/wpge/m_20150/contents.do.
37. 김은경, “온실가스 감축목표 40%로 상향…‘2050 탄소중립’ 향해간다”, <연합뉴스>, 2021년 10월 8일, https://www.yna.co.kr/view/AKR20211008070951530.

원 마련에도 적극적으로 참여하여 GCF에 총 3억 달러를 공여하였고, 2027년까지 추가로 3억 달러를 공여하기로 약속했다[38]. LDF에도 700만 달러를 출연할 계획이다[39].

원조 수혜국이 아닌 기후 기금 기여국으로서, 개발도상국이 아닌 선진국으로서, 우리에겐 이제 새로운 지위에 어울리는 새로운 과제가 생겼다. 정부는 현실적인 정책과 지원을 통해, 산업계는 경영 혁신과 기술 개발을 통해, 시민 개개인은 지속가능한 소비와 생활 방식을 실천함으로써, 각자 역할을 다할 수 있길 기대한다.

38. 각주 19와 동일.
39. 민경락, “정부, ‘손실과 피해 기금’에 700만불 신규 출연 방침”, <연합뉴스>, 2024년 7월 9일, https://www.yna.co.kr/view/AKR20240709043200002.



2024 과학혁신 시리즈 강연집

Vol. 1 기후 위기, 숲에서 길을 찾다

ⓒ 최종현학술원 2024
이 책의 일부 또는 전부를 재사용하려면 반드시 최종현학술원의 동의를 받아야 합니다.

기획 최종현학술원(Chey Institute for Advanced Studies)
글·편집 과학혁신1팀(정민선 팀장, 박유원 PM, 김성원 PM)

발행일 2024년 11월 26일
발행처 최종현학술원
Address (06141) 서울특별시 강남구 테헤란로 211, 17F
Phone 02-6310-7834
Mail sci@chey.org
Web www.chey.org
YouTube www.youtube.com/@cheyinstitute

ISBN 979-11-989836-1-9
SET ISBN 979-11-989836-0-2

CHEY 최종현학술원

서울시 강남구 테헤란로 211
211 Teheran-ro, Gangnam-gu, Seoul 06141, Republic of Korea
+82 (2) 6310 7834 sci@chey.org
www.chey.org

ISBN 979-11-989836-1-9 04040
비매품