



기상기술정책

METEOROLOGICAL TECHNOLOGY & POLICY



2021.

12

특집

2050 탄소중립 대응 전략

칼럼 | 탄소중립을 위한 청량음료 한모금 |

- 정책초점 | 2050년 탄소중립 달성 전략 |
| 2050 탄소중립 추진전략 (에너지기술) |
| '2050 탄소중립'과 기후변화 과학 |
| 탄소중립 이행을 위한 신재생에너지 발전 분야의 이음새 없는(Seamless)
기후예측정보의 활용 제언 |
| 2050 탄소중립 달성을 위한 생태계의 역할 |
| 탄소중립대응을 위한 탄소흡수원 관리 |



포커스 | 기후위기 극복을 위한 탄소중립과 기후변화 적응 |

『기상기술정책』

Vol.14, No.2(통권 제33호)

2021년 12월 31일 발행

등록번호 : 11-1360620-000097-09

ISSN 2092-5336

『기상기술정책』지는 범정부적인 기상·기후 분야의 정책 수요에 적극적으로 부응하고, 창의적인 기상기술 혁신을 위한 전문적인 연구 조사를 통해 기상·기후업무 관련 분야의 발전에 기여할 목적으로 발간 기획되었습니다.

본 『기상기술정책』지는 기상·기후 분야의 주요 정책적 이슈나 현안에 대하여 집중적으로 논의하고, 이와 관련된 해외 정책동향과 연구 자료를 신속하고 체계적으로 수집하여 제공함으로써 기상 정책입안과 연구개발 전략 수립에 기여하고자 정기적으로 발행되고 있습니다.

본지에 실린 내용은 집필자 자신의 개인 의견이며, 기상청의 공식의견이 아님을 밝힙니다. 본지에 게재된 내용은 출처와 저자를 밝히는 한 부분적으로 발췌 또는 인용될 수 있습니다.

원고모집

『기상기술정책』에서는 기상과 기후분야의 정책이나 기술 혁신과 관련된 원고를 모집하고 있습니다. 뜻있는 분들의 많은 참여를 부탁드립니다. 편집위원회의 심사를 통하여 채택된 원고에 대해서는 소정의 원고료를 지급하고 있습니다.

▶ 원고매수: A4 용지 10매 내외

▶ 원고마감: 수시접수

▶ 보내실 곳 및 문의사항은 발행처를 참고 바랍니다.

☞ 더 자세한 투고방법은 맨 뒷편의 투고요령을 참고바랍니다.

『기상기술정책』편집위원회

발행인: 박광석

편집기획: 국립기상과학원(책임운영기관) 연구기획재정과

편집위원장: 김성균

편집위원: 정관영, 신동현, 이은정, 임하권,

박록진, 반기성, 홍진규, 김도우

편집간사: 임병환, 이대근, 김인겸

발행처

주소: (63568) 제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33

국립기상과학원(책임운영기관)

전화: 064-780-6545 팩스: 064-738-6513

E-mail: dglee7@korea.kr

CONTENTS

특집: 2050 탄소중립 대응 전략

칼럼 03 _ 탄소중립을 위한 청량음료 한 모금 / 박광석

정책초점 06 _ 2050년 탄소중립 달성 전략 / 노동운

19 _ 2050 탄소중립 추진전략(에너지기술) / 김현구

26 _ '2050 탄소중립'과 기후변화 과학 / 전의찬

33 _ 탄소중립 이행을 위한 신재생에너지 발전 분야의 이음새 없는(Seamless) 기후예측정보의 활용 제언 / 오지현

45 _ 2050 탄소중립 달성을 위한 생태계의 역할 / 이동근

56 _ 탄소중립대응을 위한 탄소흡수원 관리 / 이우균

포커스 66 _ 기후위기 극복을 위한 탄소중립과 기후변화 적응 / 박진한

탄소중립을 위한 청량음료 한 모금



박광석
기상청장

청량음료의 사전적 뜻은 '탄산가스가 들어 있어 맛이 산뜻하고 시원한 음료'로 사이다, 콜라가 대표적이다. 최근에 젊은 세대와 미디어를 중심으로 뭔가 답답하거나 부조리하게 느껴졌던 상황이 해소되었을 때, 종종 '사이다 같다'라는 표현으로 활용되기도 한다. 목구멍을 자극하며 넘어가는 탄산의 목 넘김에 일순 표정이 일그러지면서도 뒤이어 찾아오는 짜릿함을 누구나 느껴봤을 것이다. 다들 알다시피 이는 사이다에 주입된 탄산 덕분이다.

물에 녹은 이산화탄소는 우리에게 짜릿함과 상쾌함을 선사하지만, 대기 중에 녹아 들어간 이산화탄소는 인류를 포함한 대부분의 생명체의 건강과 안전을 위협한다. 전 세계에서 동시다발적으로 발생하고 있는 극한 수준의 폭염, 홍수, 한파 등 기상재해는 물론 기후난민, 식량 문제 산호 백화, 해양염분농도 감소 등 사회·환경·정치경제에 이르기까지 그 파급효과는 광대하다. 안타깝게도 현재의 대기 중 이산화탄소 농도 증가는 인간의 인위적 배출 탓이 크다는 점에서 우리는 미래 세대, 혹은 앞으로 지구에서 삶을 영위할 모든 생명체들에게 상환할 수 없는 커다란 빚을 지고 있는 것일지도 모르겠다.

이러한 문제에 전 세계가 공동으로 대응할 목적으로 1988년 세계기상기구(WMO)와 UN환경계획은 '기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)'를 설립하였다. IPCC는 1990년 제1차 평가보고서 발표 이후 최근 제6차 평가보고서에 이르기까지 지구온난화에 대한 인간의 영향을 역설함으로써 그 해결책도 우리 인간에게 있음을 주장해 왔다. 특히 제6차 평가보고서는 '인간의 영향 때문에 대기와 해양,

육지가 온난해지고 있는 것은 명백한 사실'이라고 선언했고, 더 이상의 논쟁 여지를 남기지 않으며 전 세계의 신속한 대응을 촉구했다.

전지구 온도는 2019년 기준 산업화 이전(1850-1900) 대비 이미 1.1℃ 상승했다. 위기감을 느낀 각국 정부는 지구 지표 평균온도 상승을 1.5℃로 억제하기 위해 2050년까지 순배출 탄소량을 0으로 유지하는 '탄소중립'에 노력을 기울이기 시작했다. 탄소중립 달성을 위해 미국은 총 2조 달러 규모의 투자 정책을 추진하고 있고, 유럽연합(EU)은 10년간 1조 유로의 투자계획을 발표했다. 우리나라도 이에 발맞춰 2021년 '탄소중립 기술혁신 추진전략' 확정, 「2050 탄소중립위원회」 출범, 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」 제정 등 법과 제도를 착실히 정비하여 미래 환경변화를 준비하고 있다.

효과적인 탄소중립을 달성하기 위해선 부문별 배출 기여, 산업 특성, 실현가능성 및 효과, 타 분야에의 파장 등을 종합적으로 고려한 전략이 요구된다. 예를 들면, 에너지 분야에서의 신재생에너지를 비롯한 저탄소 연료 사용 및 에너지 수요 감소, 발전 부문에서의 탄소 포집·이용·저장기술 확보, 에너지 저감형 친환경 건축물, 수송 부문에서의 전기차·수소차 보급 및 대중교통 이용 장려, 1차산업에서의 저탄소 생산 방법 도입, 재활용 확대 및 바이오가스 활용 등이다. 여기에 전 국토를 탄소 흡수원으로 인식하고, 정량적인 면적과 흡수량 산정을 통한 정확한 배출탄소 추정, 생태계 개선과 생물종 다양성 보호를 도모함으로써 저탄소 사회가 지속가능할 수 있도록 지원하는 방법도 있다.

이처럼 다양한 탄소중립 달성 방안에는 각 부문마다 필요로 하는 기상정보가 존재한다. 탄소중립 이행 움직임이 본격화된 지금 기상정보가 지니는 활용가치는 무궁무진하다. 기후위기가 가져올 불안감과 답답함을 속 시원하게 해줄 기상청의 사이드 같은 역할이 필요한 때다.

우리에게 이미 충분한 자원과 능력이 있다. 필요한 것은 우리에게 주어진 역할을 적극적으로 실행하기 위한 관심과 의지이다. 기상청은 앞으로 탄소중립 사회로의 전환에 필요한 과학적 기상·기후정보를 제공하기 위해 끊임없이 노력해 나아갈 것이다.

정책 초점

2050년 탄소중립 달성 전략

| 노동운

2050 탄소중립 추진전략(에너지기술)

| 김현구

‘2050 탄소중립’과 기후변화 과학

| 전의찬

탄소중립 이행을 위한 신재생에너지 발전 분야의 이음새 없는(Seamless)

기후예측정보의 활용 제언

| 오지현

2050 탄소중립 달성을 위한 생태계의 역할

| 이동근

탄소중립대응을 위한 탄소흡수원 관리

| 이우균

2050년 탄소중립 달성 전략

노동운 에너지경제연구원 선임연구위원 dwroh@keei.re.kr

- I. 파리협정의 온도상승 목표
- II. 2030년 온실가스 감축목표 달성 전략
- III. 2050년 탄소중립 달성 전략
- IV. COP26의 온실가스 감축
- V. 결어

「파리협정」 체결로 1.5°C 상승과 2050년까지 탄소중립 선언이 세계적인 흐름이 되었다. NDC(Nationally Determined Contributions) 이행 시 2030년의 세계 온실가스 배출량은 55-56GtCO₂에 이르러 1.5°C 상승에 필요한 배출량(25GtCO₂)를 32GtCO₂ 초과, 1.5°C 상승을 달성하기 위해서는 현재의 NDC를 11배 수준으로 높여야 한다. 탄소중립을 달성하기 위한 2030년까지의 단기 전략으로는 에너지 효율 개선과 재생에너지 확대가 제시되었으며, 이후 2050년까지의 장기적인 전략으로는 에너지 수요 감소, 전력의 무탄소화, 에너지 소비의 전기화, 잔여 화석연료 배출의 흡수(Bioenergy with Carbon Capture and Storage, Direct Air Carbon Capture and Storage) 등이 제시되었다. 탄소중립은 인류가 달성해야 할 과제로 등장하게 되었다. ■

“ 기후변화문제 해결을
위한 최초의 노력은
1992년 UNFCCC
체결 ”

1. 파리협정의 온도상승 목표

인류의 최대 공동 문제인 기후변화를 해결하기 위한 최초의 노력으로 1992년에 유엔 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)이 체결되었다. 인위적인 활동에 의한 온실가스 농도를 안정화하는 목표를 달성하기 위해 온실가스 감축정책을 추진하고, 부속서 I 국가(선진국)는 비부속서 I 국가(개도국)에 대한 재정 및 기술 지원을 실시해야 한다고 규정했다. 1997년에는 교토의정서(Kyoto Protocol)가 체결되어 부속서 I 국가에 대해 제1차 공약기간(2008-2012년)의 온실가스 배출량을 1990년 대비 5.2% 감축하는 목표가 설정되고 이를 달성하기 위한 제도가 규정되었다. 교토의정서는 제2차 공약기간(2013-2020년)에도 부속서 I 국가의 온실가스 감축목표를 설정하는 체제를 유지했지만 탈퇴하는 국가가 증가하면서 실질적인 효력이 약화되는 문제가 발생했다. 2015년에는 파리협정(Paris Agreement)이 체결되어 선진국뿐만 아니라 개도국을 포함한 모든 국가가 기후변화 대응노력에 참여하는 체제가 확립되었다. 2021년부터 본격적인 이행에 들어간 파리협정에서는 교토의정서 체제와 달리 각국이 스스로 온실가스 감축목표(Nationally Determined Contribution, NDC)를 설정해서 5년마다 제출하도록 규정되어 있다.

파리협정 제2조에서는 3개의 목표가 규정되어 있다. 첫째, 산업화 이전 시기(pre-industrial period, 1850-1900년) 대비 지구 평균 온도를 2°C 이내 상승으로 억제하며, 나아가 1.5°C 이내 상승으로 억제하도록 노력한다. 2°C에 비해 1.5°C 상승으로 억제하면 기후변화의 리스크와 영향을 대폭 축소시킬 것으로 기대된다. 둘째, 식량 생산을 저해하지 않도록 온실가스 저배출 개발과 기후 복원력을 증진시키고 기후변화의 부정적 영향에 적응하는 능력을 제고시킨다. 셋째, 온실가스 저배출 개발과 기후 복원력 개발을 지향하도록 재원흐름을 만든다. 또한 제3조에서는 각 당사국은 조속한 시기에 온실가스 배출량이 정점에 도달하도록 노력해야 하며 21세기 후반부에는 탄소중립을 달성하도록 노력해야 한다고 규정하고 있다(UN, 2015).

“ IPCC 1.5°C
특별보고서
채택으로 주요
화두가 된 지구온도
1.5°C 상승 ”

파리협정이 체결되기 이전까지는 지구온도 2°C 상승의 가능성에 대한 논의가 주를 이루었기 때문에 1.5°C 상승의 영향과 달성 전략에 대해서는 많은 연구가 이루어지지 않은 상황이었다. 파리협정의 장기목표에 1.5°C 상승이 포함되면서 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)로 하여금 1.5°C 상승의 기후변화 영향과 온실가스 배출경로가 2°C 상승 시에 비해 어떤 차이가 있는지를 파악할 수 있는 보고서를 작성하도록 요청했다. 2016년 이후 3년 간의 작업 끝에 마련된 1.5°C 특별 보고서가 2018년 10월 우리나라 송도에서 개최된 IPCC 총회에서 승인되면서 지구온도 1.5°C 상승이 주요 화두가 되었다.

2019년 12월 스페인 마드리드에서 개최된 제25차 기후변화협약 당사국총회(COP25)에서 IPCC의 1.5°C 특별보고서를 과학적인 근거로 채택하려는 노력이 일부 당사국의 반대로 인해 당초의 성과에 미치지 못한 채 채택되었으나 1.5°C 온도상승 제한은 세계적인 흐름으로 자리잡게 되었다. 2019년 9월 뉴욕에서 개최된 유엔의 기후행동 정상회의(UN Climate Action Summit)에서는 지구온도 1.5°C 상승과 2030년 온실가스 감축목표를 상향조정하는 논의가 활발하게 이루어졌다. COP25 의장국인 칠레가 중심이 되어 결성한 기후목표상향동맹(Climate Ambition Alliance)을 통해 많은 국가가 탄소중립을 선언하면서 2050년까지 탄소중립을 달성하여 지구온도 1.5°C 상승을 달성한다는 흐름이 확고하게 형성되었다.

EU와 영국 및 독일 등 유럽의 선진국을 중심으로 2050년까지 탄소중립을 달성한다는 선언이 주류를 형성하면서 일본은 2020년 9월에 2050년까지의 탄소중립을 선언했고, 중국은 10월에 2060년까지의 탄소중립을 선언했으며, 우리나라 역시 2020년 10월에 2050년 탄소중립을 선언했다. 2021년 11월 영국 글래스고에서 개최된 제26차 기후변화협약 당사국총회(COP26)를 준비하면서 사우디아라비아와 같은 국가들이 추가적으로 탄소중립을 선언하게 되면서 2021년 12월 말 현재 141개 국가가 탄소중립을 선언했다. G20의 회원국 중에서 EU를 포함한 20개 회원국이 모두 탄소중립을 선언했으며, OECD의 37개 회원국 중에서 폴란드를 제외한 36

“ 탄소중립 선언을
법제화한 국가는
전세계 14개국 ”

개 국가가 탄소중립을 선언했다. 탄소중립 선언을 법제화한 국가는 2021년 10월에 법제화를 달성한 우리나라를 포함하여 14개 국가에 이르고 있으며, 법제화 추진 국가는 증가할 것으로 예상된다(표 1).

〈표 1〉 OECD 국가의 탄소중립 선언 동향(ECIU(2021)를 바탕으로 저자 작성)

	탄소중립 선언국	미선언국
OECD America(5/5)	USA, Canada, Mexico, Chile, Colombia	-
OECD Asia Oceania(5/5)	Australia, Korea, New Zealand, Japan, Israel	-
OECD Europe(26/27)	UK, Italy, Germany, France, Netherlands, Denmark, Belgium, Spain, Sweden, Switzerland, Finland, Portugal, Czech, Greece, Austria, Hungary, Ireland, Slovak, Lithuania, Estonia, Slovenia, Latvia, Luxembourg, Iceland, Norway, Turkey	Poland

II. 2030년 온실가스 감축목표 달성전략

파리협정이 발효(2016.11)되기 이전인 2016년 4월까지 189개 국가가 UN에 제출한 161개(EU-28 회원국 포함)의 자발적 기여(Intended Nationally Determined Contribution, INDC)를 분석한 INDC 종합보고서(UNFCCC, 2016.5.2.)에 의하면 2030년의 세계 온실가스 배출량은 56.2GtCO₂에 이를 것으로 전망되었다. INDC 이전(pre-INDC)의 2030년 온실가스 배출 전망(60.8GtCO₂)에 비해 겨우 4GtCO₂ 감축(감축률 7.6%)에 불과한 수준으로 전망되었다. INDC의 2030년 온실가스 배출량이 1990년 세계 온실가스 배출량(38.7GtCO₂) 대비 44%, 2010년 배출량(48.1GtCO₂) 대비 17% 높은 수준이라는 점은 2030년 온실가스 감축목표를 성실하게 이행해도 세계 온실가스 배출량은 감소하기 보다는 지속적으로 증가할 것이라는 우려를 말해주고 있다. UNFCCC는 지구온도 2℃ 상승 억제를 위해서는 2030년 세계 온실가스 배출량이 42.5GtCO₂에 이르러야 하고, 1.5℃ 온도상승을 위해서는 33.9GtCO₂에 이르러야 한다고 제시하고 있다. 따라서 2℃ 상승을 위해서는 각국이 제출한 2030년 온실가스 감축목표를 4.0배 수준으로 강화시켜야 하며, 1.5℃ 상승을 위해서는 5.8배 수준으로 강화시켜야 한다는 점을 알 수 있다. 당

“ 1.5°C 온도상승 달성을 위해 모든 국가의 감축목표는 11배 강화해야함 ”

시 우리나라는 2030년 기준 배출량 대비 37% 감축한다는 목표를 제출했기 때문에 1.5°C 달성을 위해서는 우리나라 감축목표를 기준 배출량 대비 215% 감축으로 높여야 한다는 점을 말해주고 있다<표 2>.

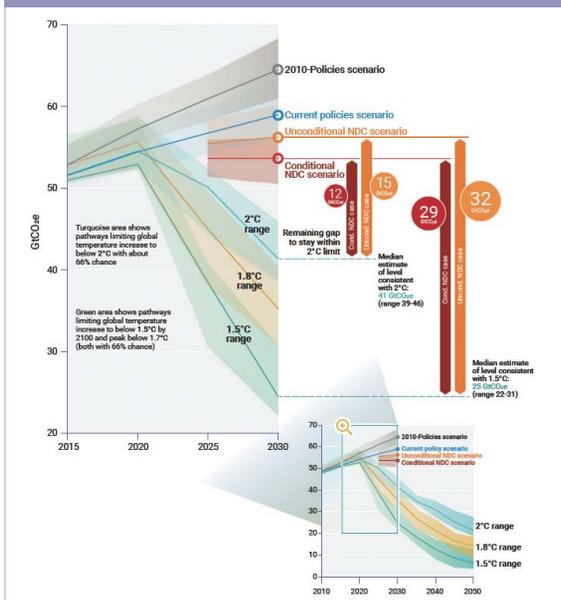
〈표 2〉 2030년 온실가스 감축목표(INDC)의 배출량 전망 (UNFCCC, 2016)

	연간 세계 온실가스 배출량(GtCO ₂)	
	2025년	2030년
pre-INDC 배출량	57.7	60.8
INDC 배출량	55.0	56.2(-4.6)
2°C 상승 배출량(50% 확률)	45.4	42.5(-18.3)
1.5°C 상승 배출량(50% 확률)	38.4	33.9(-26.9)

UNEP의 GAP Report(2020)에서는 2030년 비조건부 온실가스 감축목표(NDC)의 배출량은 56GtCO₂로 전망되어 현재의 정책이 유지될 경우의 기준 배출량(59GtCO₂) 대비 5.1% 감축(-3GtCO₂)에 불과할 것으로 분석되었다. 1.5°C 온도상승을 달성하기 위해서는 2030년 세계 온실가스 배출량이 25GtCO₂에 이르러야 하기 때문에 현

정책 기준 배출량 대비 총 35GtCO₂를 감축해야 하는데, 이는 2030년 감축목표 감축량(-3GtCO₂)의 11배에 가까운 수준이다. 따라서 1.5°C 온도상승을 달성하기 위해서는 유엔에 제출한 2030년 온실가스 감축목표를 모든 국가가 11배 수준으로 강화시켜야 한다는 점을 말해주고 있다<그림 1>.

〈그림 1〉 2030년 온실가스 감축목표와 탄소중립 간극 (UNEP, 2020)

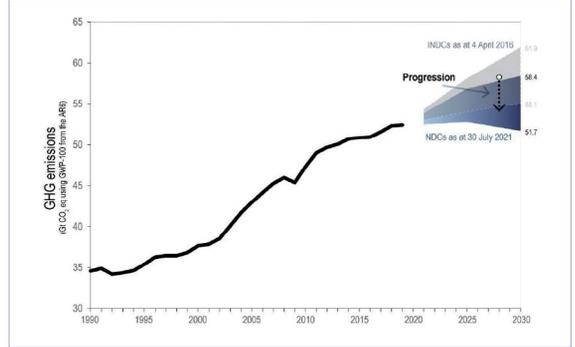


2021년 11월의 COP26 이전까지 유엔에 새로 제출하거나 기존의 NDC를 갱신한 2030년 온실가스 감축 목표를 분석한 UNFCCC 종합보고서(2021.10)에 의하면 2030년 NDC 배출량은 54.9GtCO₂(51.5-58.3)에 이르러 2010년 배출량(48.1GtCO₂) 대비 13.7% 상승할 것으로 전망되었다. 이러한 2030년의 NDC 배출량 전망은 2050년까지 탄소중립을 달성하기 위해서는 온실가스 배출량이 지금부터 감소해야 함에도 불구하고 지속적으로 증가할 것이라는 우려를 말해주고 있다. 2021년의 NDC 배출량 전망은 이전의 배출량 전망에 비해 약 1-2GtCO₂ 낮은 수준으로 나타났다<그림 2>.

UNFCCC에 제출한 INDC의 2030년 온실가스 감축 목표 달성 분야로서는 대부분의 국가가 재생에너지 확대와 에너지 효율 개선을 제시했으며, 이 외에 지속가능한 수송, 탄소포집 및 저장(Carbon Capture Storage, CCS), 산림의 보존도 제시했다. 재생에너지의 비중을 증대시키고 접근성을 향상시키기 위한 방안으로서 재생에너지 보조금(Feed-in Tariffs, FIT) 도입, 재생에너지 발전을 위한 투자 프로그램, 재생에너지에 적합한 전력망, 재생에너지 정량적 공급목표 설정, 환경세 도입 등이 제시되었다. 에너지 효율을 개선시키기 위한 방안으로는 에너지 효율 개선 목표 설정, 에너지 생산 및 수송 인프라 현대화, 스마트 그리드 촉진, 산업공정 및 건물 부문의 에너지 효율 개선, 에너지 절약기준 설정, 정량적인 에너지 효율 개선 목표 설정 등이 제시되었다. 지속가능한 수송을 달성하기 위한 방안으로는 대중교통 개선, 전기자동차와 바이오 자동차 보급 확대, 저효율 자동차 수입 제한, 연비 기준 설정 등이 제시되었다<표 3>.

UNEP의 GAP Report(2017)에 의하면 2030년에 \$100/tCO₂의 비용으로 달성 가능한 온실가스 감축량은 38GtCO₂에 이를 것으로 분석되었다. 이러한 온실가스 감축 잠재량은 1.5℃ 상승 달성에 필요한 온실가스 감축량(35GtCO₂)을 상회하는 수준이기 때문에 \$100/tCO₂의 비용이면 1.5℃ 상승을 달성할 수 있다는 점을 말해 주고 있다. 특이한 점은 온실가스 감축 잠재량의 60% 정도는 \$20-30/tCO₂ 이하의 비용으로 달성 가능하기 때문에 2050년까지 탄소중립을 달성하여 지구온도 1.5℃ 상승을 달성하는 노력에 생각보다 많은 비용이 소요되지 않을 가능성이 있다는 점이다. 2030년 온실가스 감축 잠재량의 가장 큰 비중(12.5GtCO₂)은 에너지 부문에서, 다음으로는 산업 부문과 산림 부문에서 각각 5.4GtCO₂, 5.3GtCO₂의 감축 잠

[그림 2] 2030년 갱신 NDC의 온실가스 배출 전망 (UNFCCC, 2021)



[표 3] 2030년 온실가스 감축목표 달성 전략(UNFCCC, 2016)

구분	세부 내용
감축분야	에너지효율, 신재생에너지, 지속가능 수송, 탄소 포집 및 저장 (CCS), 산림의 보존 및 지속가능 관리, non-CO ₂
감축조치	재생에너지 목표, 청정 투자 촉진을 위한 금융계획, 환경세도입, 보조금 개혁, 연비 및 에너지절약 목표, 전력망현대화, 저배출농업과 폐기물 관리 프로그램, 산림보존 촉진과 산림파괴 완화 조치

“ 2030년까지의 온실 가스 감축잠재량은 에너지 효율과 재생 에너지에서 발생할 것 ”

재량이 발생하고, 수송 부문에서도 4.7GtCO₂의 감축량이 발생할 수 있을 것으로 분석했다. 에너지 부문의 온실가스 감축 잠재량은 태양광, 풍력과 같은 재생에너지가 대부분을 차지할 것으로 분석되었다(표 4).

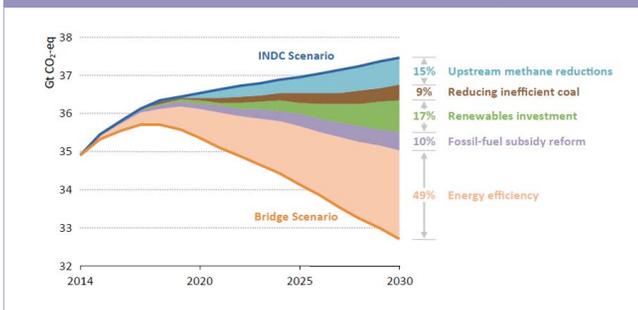
〈표 4〉 2030년 에너지 부문의 온실가스 감축 잠재량(\$100/tCO₂ 가정)(UNEP, 2017)

	구분	2030년 감축량(GtCO ₂)	총 감축량(GtCO ₂)
에너지	Solar energy	3-6	10(9.3-10.6)
	Wind energy	2.6-4.1	
	Hydropower	0.32	
	Nuclear energy	0.87	
	Bioenergy	0.85	
	Geothermal	0.73	
	CCS	0.53	
	Bioenergy with CCS	0.31	0.3(0.2-0.4)
	Methane from coal	0.41	2.2(1.7-2.6)
	Methane from oiland gas	1.78	

IEA(International Energy Agency)의 World Energy Outlook(2015)에서는 2030년 온실가스 감축 잠재량(5GtCO₂)의 49%는 에너지 효율(산업, 건물, 수송 부문에서의 효율 개선)이 차지하고, 17%는 재생에너지(재생에너지 발전 확대, 석유와 가스 생산 시 발생하는 메탄 배출량 감축과

화석연료 보조금 폐지는 각각 15%와 10%의 비중을 차지하여 에너지 효율과 재생 에너지가 온실가스 감축 잠재량의 60% 이상을 차지할 것으로 분석되었다. 2040년의 온실가스 감축 잠재량(18GtCO₂)의 44%는 에너지 효율 개선이 차지하고, 재생에너지는 36%, CCS는 9%, 원자력이 6%, 연료전환과 기타가 각각 2%씩 차지하는 등 에너지효율과 재생에너지가 전체 감축 잠재량의 80%를 차지할 것으로 분석했다(IEA, 2018). 따라서 앞의 분석 결과를 종합하면 2030년까지의 온실가스 감축

〈그림 3〉 에너지 부문의 2030년 온실가스 감축 잠재량(IEA, 2015)

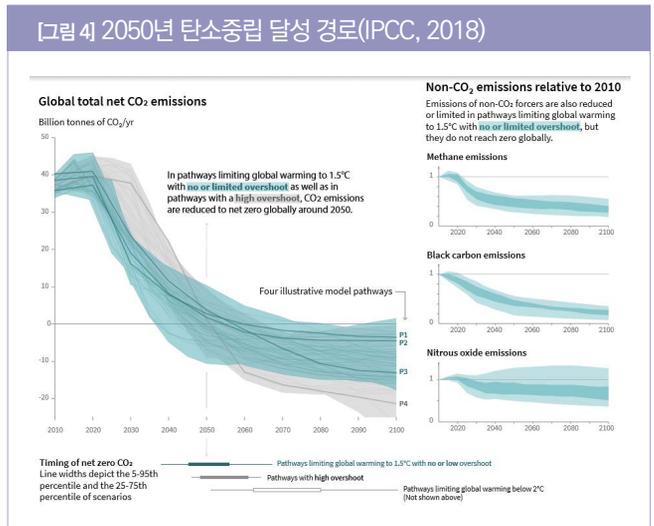


잠재량은 주로 에너지 효율과 재생에너지에서 발생할 것이라는 점이 공통적인 특징으로 나타나고 있다(그림 3).

“ 핵심 에너지 전략은 수요감소, 무탄소화, 전기화 소비, 탄소 집약도 감소가 제시됨 ”

III. 2050년 탄소중립 달성 전략

2018년 10월 인천 송도에서 승인된 IPCC의 「1.5°C 특별보고서」에 의하면 산업화 이전 대비 지구온도 1.5°C 상승을 달성하기 위해서는 CO₂ 배출량을 2030년까지 2010년 배출량(48.1GtCO₂) 대비 45%를 감축하여 연간 배출량을 25~30GtCO₂으로 억제하고, 2050년까지는 순무배출(net zero emission)을 달성해야 한다는 것이다. 또한 메탄(CH₄)과 black carbon도 2030년까지 2010년 대비 35% 이상 감축해야 하며, 아산화질소(N₂O) 배출량과 냉각 에어로졸도 빠른 속도로 감축해야 한다고 제안했다. 2°C 상승을 달성하기 위해서는 CO₂ 배출량을 2030년까지 2010년 대비 25%(10~30%) 감축하고, 2070년까지는 순무배출을 달성해야 한다고 제안했다[그림 4].



2050년까지 탄소중립을 달성하기 위해서는 전체 온실가스 배출량의 약 60~70%를 차지하고 있는 에너지 부문이 저탄소 시스템으로 전환되어야 하며, 이러한 전환은 특정 부문과 기술 및 지역에서 이미 경험했기 때문에 실현 가능성이 높다는 점을 강조하고 있다. 탄소중립을 달성하기 위한 핵심 전략으로는 에너지 수요 감소, 전력의 무탄소화, 에너지 소비의 전기화(electrification), 잔여 화석연료의 탄소 집약도 감소(흡수)가 제시되었다. 여기에는 2050년까지 에너지 공급의 52~67%는 재생에너지가 차지하는 반면, CCS를 부착한 석탄의 비중은 1~7% 수준으로 급감하는 것이 포함된다. 전력 생산의 70~85%는 재생에너지가 차지하고, CCS를 부착한 천연가스는 8%, 석탄은 대부분 퇴출하는 것을 목표로 한다. 전력의 탄소 집약도는 2020년의 140gCO₂/MJ에서 2050년에는 -92~11gCO₂/MJ로 감소해야 하는데, 부의 탄소집약도는 온실가스를 흡수하는 기술(Bioenergy with Carbon Capture and Storage, BECCS)을 전력 생산에 활용한다는 의미이다. 최종 에너지 소비에서

“ 2050년의 재생에너지
전력생산 비중은
90%에 달할 것 ”

전력이 차지하는 비중은 2020년의 20%에서 2050년에는 34-71%로 증가하는데, 이는 무탄소 전력이 최종 에너지 소비 단계의 대부분 화석연료 사용을 전력으로 대체한다는 전기화를 의미한다.

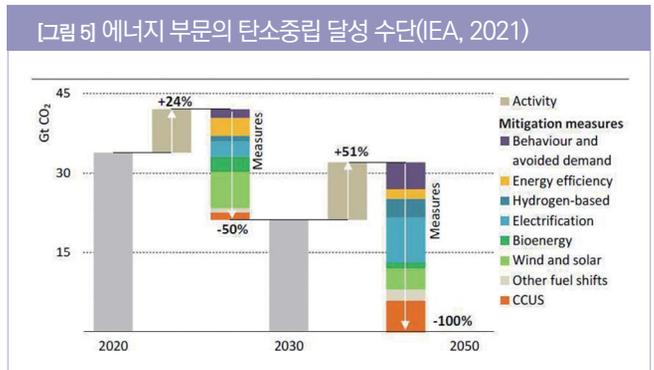
이산화탄소(CO₂) 제거기술(Carbon Dioxide Removal, CDR)은 상당한 수준의 온실가스 감축 잠재량을 갖고 있지만 활용은 매우 신중하게 추진되어야 한다. CDR에는 조림 및 재조림, BECCS, 토양복구, 토양 CO₂ 흡수, 대기중 CO₂ 흡수(Direct Air Carbon Capture and Storage, DACCS), 기상 및 해양 알칼리성화 등의 기술이 포함되어 있는데, 조림과 BECCS 이외의 기술은 대규모 적용 경험이 없고, 기술적으로도 불확실하기 때문이다. 또한 이들 기술의 성숙도, 감축 잠재량, 비용, 리스크, 공편익은 다양한 수준이어서 지속가능개발 목표와 상충할 가능성이 높다.

에너지 부문의 탄소중립을 달성하기 위해서는 화석연료 공급량은 감소하는 반면 태양광과 풍력 등의 재생에너지 공급량은 증가해야 할 것으로 전망되었다(IEA, 2021). 에너지 공급에서 화석연료가 차지하는 비중은 2020년의 80%에서 2050년에는 20%로 대폭 축소되며 바이오에너지, 태양광, 풍력 등의 재생에너지 비중은 60% 이상까지 상승할 것으로 제시되었다. 화석연료에서 석탄, 가스, 석유의 공급 비중은 대폭 축소되며, 가스는 탄소포집 및 저장설비(CCS)를 부착한 가교 연료로 사용되어야 한다는 것이다. 저탄소화가 상대적으로 어려운 분야(트럭, 항공, 해운)의 화석연료 사용에 따른 온실가스는 BECCS와 DACCS를 통해서 흡수해야 할 것으로 제시되었다.

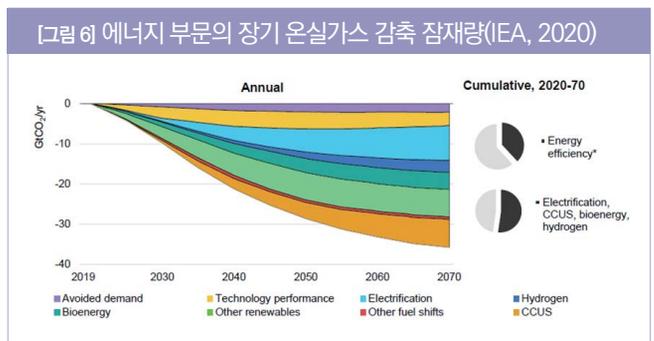
에너지 소비 부문의 화석연료 사용이 저탄소 및 무탄소 전력으로 대체되는 전기화 진전으로 인해 최종에너지 소비에서 전력이 차지하는 비중은 2050년에 34-71%까지 상승할 전망이다. 또한 2050년의 전력 생산량은 2020년 대비 두 배 이상 증가하고, 전력 생산에서 재생에너지가 차지하는 비중은 2020년의 20%에서 2050년에는 90%에 달할 것으로 전망된다. 재생에너지는 풍력과 태양광 및 바이오매스 위주로 빠르게 증가하는 반면 화석연료 비중은 급감하여, 전력의 탄소집약도 역시 빠르게 하락할 전망이다.

“ 발전 부문은 온실가스
누적 감축 잠재량의
40%를 차지할 것 ”

에너지 소비 부문의 탄소중립 전략은 에너지 효율 개선, 전기화, 행태변화, 재생에너지 확대, 수소 및 수소기반 연료, 바이오에너지, CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage) 확대로 요약할 수 있다. 2020-2030년에는 태양광, 풍력, 에너지 효율 개선이 온실가스 감축량의 절반을 차지하고, 2030-2050년에는 전기화, CCUS, 수소가 주요 온실가스 감축수단이 될 것으로 예상된다. 에너지 효율 개선과 재생에너지 확대는 2030년까지 온실가스 감축에 가장 크게 기여하는 감축 수단이며, 2030년 이후에도 지속적으로 온실가스 감축에 기여하는 수단이 될 것으로 전망된다. 건물 부문의 에너지 효율 개선은 무탄소 건물기준 도입 정책, 수송 부문에서는 연비기준 강화와 내연기관 자동차 판매금지 정책, 산업 부문에서는 고효율 설비 도입과 폐열회수설비 도입 정책이 필요한 것으로 제시되었다(그림 5).

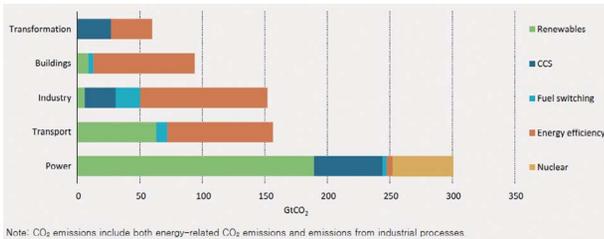


장기적인 관점에서 온실가스 감축 잠재량이 가장 높게 나타나는 부문은 재생에너지와 에너지 효율로 분석된다(IEA, 2020). 2020-2040년 에너지 효율 개선과 재생에너지는 누적 CO₂ 감축량의 70%를 차지할 것으로 분석되었으며, 2020-2070년에는 전기화가 누적 CO₂ 감축량의 20%, CCUS가 15%, 바이오에너지가 12%, 기타 재생에너지가 20%, 수소관련 연료(암모니아, 합성연료)가 6% 등 현 정책 대비 누적 CO₂ 감축량의 50% 이상을 이룰 감축수단이 차지하고, 에너지 효율(연료전환 포함)은 35% 이상을 차지할 것이다(그림 6).



온실가스 감축 잠재량을 부문별로 보면 발전 부문이 전체 온실가스 누적 감축 잠재량의 약 40%를 차지할 것으로 예상된다(IEA, 2017). 발전 부문에서는 재생에너지 발전이 대부분의 감축 잠재량을 차지하

그림 7 부문별 누적 온실가스 감축 잠재량(IEA, 2017)



고 CCS, 원자력을 통해서도 온실가스를 감축할 것으로 제시되었다. 수송 부문과 산업 부문은 각각 누적 감축량의 20%를 차지할 것으로 예상되며, 이들 부문의 주요 감축 수단은 에너지 효율로 분석되었다. 건물 부문은 감축 잠재량의 약 20% 미만을 차지하며 에너지 효율이 주요 감축 수단으로 분석되었다(그림 7).

IV. COP26의 온실가스 감축

2021년 11월 영국 글래스고에서 개최된 「제26차 기후변화협약 당사국총회(COP26)」에서는 지구온도 상승목표를 산업화 이전 대비 1.5°C 상승으로 억제해야 하며, 이를 위해서는 2050년까지 탄소중립을 달성해야 한다는 IPCC의 「1.5°C 특별보고서」가 다시 한번 강조되었다. 지구온도는 2019년에 산업화 이전 대비 이미 1.1°C 상승했다고 우려하면서 1.5°C 상승을 달성하기 위한 온실가스 배출허용총량(carbon budget)이 소규모일뿐만 아니라 빠른 속도로 소진되고 있다고 경고하고 있다. 참고로 2012-2030년의 세계 CO₂ 누적 배출량은 738.8GtCO₂에 이를 것으로 전망되며, 1.5°C 상승에 필요한 CO₂ 배출허용총량은 IPCC의 「제5차 평가보고서」에서는 400GtCO₂, 「1.5°C 특별보고서」에서는 860GtCO₂로 제시하고 있다.

〈표 5〉 1.5°C 상승에 필요한 CO₂배출 허용총량(carbon budget) (UNFCCC, IPCC 자료 참고하여 저자 작성)

CO ₂ 누적 배출량 (GtCO ₂ , 2012-2030년)	CO ₂ 배출 허용총량 (GtCO ₂ , carbon budget)		
	온도상승	IPCC AR5	1.5°C 특별보고서
738.8	1.5°C	400	860
	2°C	1,000	1,600

따라서 현재 추세가 유지된다면 2030년 이전에 이미 지구온도가 1.5°C 상승하거나(제5차 평가보고서 기준), 1.5°C 상승에 필요한 배출허용총량을 86% 잠식할 것으로 예상된다(표 5).

“전기화로의 전환
어려울 경우 저탄소
대체연료 사용, 흡수
기술 활용 전략 필요”

탄소중립을 달성하기 위해서는 각국이 2030년 온실가스 감축목표(NDC)를 강화하고, 2050년 탄소중립에 기초하여 2050년 장기저탄소 개발전략(Long term low greenhouse gas Emission Development Strategies, LEDS)을 수립하되 최신 과학을 반영하여 정기적으로 갱신해야 한다. 2022년 회의에서는 2030년 온실가스 감축목표를 2050년까지 탄소중립을 달성하는 경로와 일치시키기 위한 작업 일정(work program)을 수립하고 매년 장관급 원탁회의를 개최할 예정이다.

UNFCCC 사무국은 매년 NDC 종합보고서를 작성하여 SBSTA(Subsidiary Body for Scientific and Technology Advise)에 보고해야 하며, 장기저탄소개발 전략 종합보고서도 작성하여 보고하도록 요구하고 있다. 모든 당사국은 석탄화력 발전소를 점진적으로 폐쇄해야 하며 화석연료 보조금도 폐지해야 한다고 결정했으며, 저탄소 기술의 개발과 보급 및 확산을 촉진시키고, 에너지 효율을 개선하는 정책을 도입하도록 촉구하고 있다.

V. 결어

기후변화 문제를 해결하기 위해서는 지구온도 1.5℃ 상승 목표를 달성해야 한다. 이를 위해서는 2050년까지 탄소중립을 달성해야 한다는 것이 세계적인 목표로 확고하게 자리잡게 되었으며, 2021년 11월에 개최된 COP26에서도 이를 확인하고 결정문으로 채택하게 되었다. 탄소중립을 달성하기 위해서는 재생에너지 보급을 확대하고 에너지 효율을 지속적으로 개선시키는 전략이 제시되었다. 에너지 소비를 감소시키고, 재생에너지 공급 비중을 대폭 증대시키는 대신 화석연료의 비중은 대폭 감소시키는 전략이 필요하다. 전력 생산에 재생에너지 비중을 대폭 증대시켜 무탄소 전력을 생산하고, 이러한 저탄소 전력이 화석연료 소비를 대체하는 전기화가 빠른 속도로 추진되어야 한다. 전기화가 어려운 장거리 화물트럭, 항공, 해운, 철강, 시멘트, 석유화학 등에서는 바이오 연료나 수소 및 암모니아 등의 대체연료를 사용하고, 여기에서 발생된 온실가스는 흡수기술을 활용하는 전략이 필요하다. 탄소중

립 전략은 이미 여러 부문이나 지역에서 달성한 경험이 있기 때문에, 충분히 현실적인 대안이 될 수 있다. 탄소중립은 피해갈 수 있는 길이 아니라 인류가 반드시 달성해야 하는 과제로 인식하는 것이 요구된다.

참고문헌

- Energy & Climate Intelligence Unit, 2021: Carbon Neutral Goals by Country. <https://www.motive-power.com/npuc-resource/carbon-neutral-goals-by-country/> (검색일: 2021.9.14.).
- International Energy Agency, 2015: World Energy Outlook 2015.
- International Energy Agency, 2017: Energy Technology Perspective.
- International Energy Agency, 2018: World Energy Outlook 2018.
- International Energy Agency, 2020: Energy Technology Perspective.
- International Energy Agency, 2021: Net Zero by 2050 : A Roadmap for the Global Energy Sector.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013: The 5th Assessment Report, WG I.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2108: Global Warming of 1.5°C.
- United Nations, 2015: Paris Agreement.
- United Nations Environment Program, 2017: The Emissions Gap Report 2017 : A UN Environment Synthesis Report.
- United Nations Framework Convention on Climate Change, 2016: Aggregate effect of the intended nationally determined contributions : an update.
- United Nations Framework Convention on Climate Change, 2021: Nationally determined contributions under the Paris Agreement.

2050 탄소중립 추진전략 (에너지기술)

김현구 한국에너지기술연구원 신재생자원지도실장 hyungoo@kier.re.kr

- I. 탄소중립으로의 여정
- II. 2050 탄소중립 추진전략
- III. 2050 탄소중립 에너지기술 로드맵
- IV. 맺음말

우리나라는 2020년 12월 ‘어려운 과제이나 피할 수 없는 과제’인 탄소중립을 선언한 이후 2021년 9월에 탄소중립을 법제화 하였으며, 10월에는 탄소중립 위원회에서 ‘2050 탄소중립 시나리오’를, 11월에는 ‘2050 탄소중립 에너지기술 로드맵’을 발표하며 본격적인 이행단계에 들어갔다. 본 기고에서는 우리나라의 탄소중립으로의 여정을 되짚어보고 2050 탄소중립 달성을 위한 추진전략을 검토하고자 한다. 특히 2012년 11월 발표된 ‘2050 탄소중립 에너지기술 로드맵’중 기후변화 관련 기상정책의 역할도 고민해 보고자 한다. ■

“ 2021년 5월 '2050 탄소중립위원회' 발족, 9월 '탄소중립 기본법' 제정 ”

1. 탄소중립으로의 여정

지금으로부터 1년 전인 2020년 12월 10일, 대통령의 '2050 탄소중립 비전 선언' 으로부터 우리나라의 공식적인 탄소중립 추진이 시작되었다. 그러나 탄소중립으로의 여정은 이미 20여년 전인 1997년 '기후변화에 관한 국제연합 규약의 교토의정서' 채택으로부터 시작하여 2005년 '제3차 기후변화 종합대책', 2007년 '제4차 기후변화 종합대책' 수립을 거쳐 2009년 '녹색성장 국가전략 및 5개년 계획'으로 이어졌다. 그러나 현실적으로는 온실가스 배출 책임이 있는 강대국들의 정치논리에 밀려 국제협약이 제대로 된 효력을 발휘하지 못하였을뿐만 아니라, 우리나라도 온실가스 감축의 핵심 수단인 재생에너지 보급에 대해 단지 목표를 제시하는 수준으로 진정성이 담긴 정책을 추진하지는 않았다.

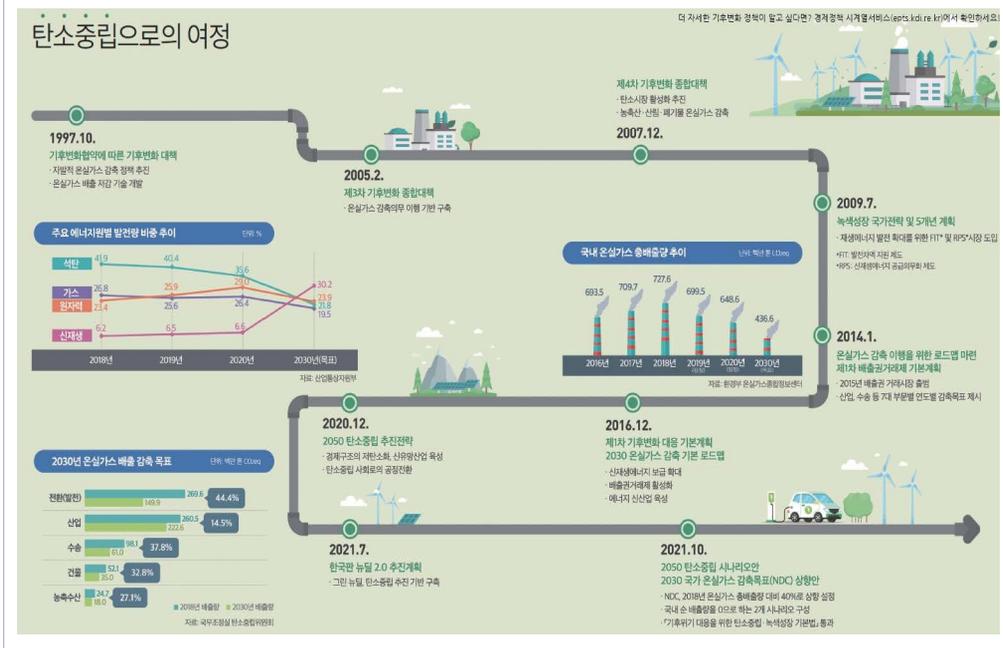
2015년 '파리 유엔기후변화협약 당사국총회(COP21)'에서 '신기후변화체제'를 선포하며 지지부진하던 온실가스 감축은 다시금 국제사회의 주목을 받게 되었다. 우리나라도 2016년 '제1차 기후변화 대응 기본계획'과 함께 '2030 온실가스 감축 로드맵'을 발표하며 '장기저탄소발전전략(Long term low greenhouse gas Emission Development Strategies, LEADS)'을 수립하였고 '국가 온실가스 감축 목표(Nationally Determined Contributions, NDC)'를 제출하였다. 2018년 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)가 '지구온난화 1.5℃ 특별보고서'를 발표하면서 기후변화로 인한 인류 공멸이라는 최악의 상황을 막기 위해 21세기 중반 또는 그 이전에 전 세계적 탄소중립을 실현해야 한다는 분위기가 고조되었으며, 2019년 COP25를 기점으로 유럽 연합을 필두로 탄소중립 선언 및 법제화가 시작되었다. 우리나라도 2020년 12월에 '어려운 과제이지만 피할 수 없는 과제'인 탄소중립 참여를 선언한 55개 국가 중 하나가 되었다(에너지경제연구원, 2021).

그 후 2021년 5월 '2050 탄소중립 위원회'를 발족하였으며, 8월에는 '2050 탄소중립 시나리오 초안'을 발표하였고, 9월에는 드디어 '탄소중립 기본법'이 제정되었다. 10월에는 2030 NDC 상향안을 반영한 '2050 탄소중립 시나리오'를 발표하였

으며, 11월에는 ‘글로벌 메탄서약’참여와 함께 ‘2050 탄소중립 에너지기술 로드맵’을 발표하였다(2050 탄소중립위원회, 2021)[그림 1].

“ 2021년 10월 '2050 탄소중립 시나리오', 11월 '2050 탄소중립 에너지기술로드맵' 발표 ”

[그림 1] 탄소중립으로의 여정(KDI 경제정보센터, 2021)



II. 2050 탄소중립 추진전략

기상재해의 증가 등 기후위기가 현실화되면서 국제사회는 기후변화 대응을 위해 보다 강화된 목표인 ‘2050 탄소중립’으로 지향점을 전환하여 2019년 12월에 유럽 연합, 2020년 9월 중국, 10월 일본 등 주요국이 탄소중립을 선언함에 따라 정부는 2020년 12월 탄소중립 선언에 동참하며 ‘지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국의 2050 탄소중립 전략’을 발표하며 3대 정책방향과 10대 과제를 제시하였다. 또한 탄소중립 추진체제로 ‘2050 탄소중립 위원회’를 신설하여 사회적 합의를 도출하고 전략적 우선순위를 설정하도록 하였다(표 1).

〈표 1〉 2050 탄소중립 추진전략: 3대 정책방향과 10대 과제(기획재정부, 2021)

3대 정책방향	적응 경제구조의 저탄소화	기획 저탄소산업 생태계 조성	공정 탄소중립 사회로의 공정전환
10대 과제	1. 에너지 전환 가속화 2. 고탄소 산업구조 혁신 3. 미래모빌리티로 전환 4. 도시·국토 저탄소화	5. 신유망 산업 육성 6. 혁신 생태계 저변 구축 7. 순환경제 활성화	8. 취약산업·계층 보호 9. 지역중심 탄소중립 실현 10. 탄소중립 사회에 대한 국민인식 제고

2021년 3월에는 과학기술정보통신부 장관 주재로 과학기술관계장관회의를 개최하고 '탄소중립 기술혁신 추진전략'을 확정하였다. 이 전략은 '기술혁신으로 2050 대한민국 탄소중립을 견인'하는 것을 비전으로 하며, 탄소중립에 핵심적 기여가 가능한 10대 핵심기술에 대한 2050년까지의 개발목표를 제시하고 있다. 그 안에는 실질적인 탄소감축으로 이어질 수 있도록 상용화를 촉진하는 '혁신생태계 조성'까지 전주기 지원을 강화하는 5대 전략이 포함된다. 10대 핵심기술은 에너지전환 분야에서 태양광-풍력, 수소, 바이오에너지, 산업 저탄소화 분야에서 철강-시멘트, 석유화학, 산업공정 고도화, CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage), 수송효율 분야와 건물효율 분야이며 디지털화가 전분야에 공통으로 적용된다. 참고로 각각의 분야는 2018년도 기준으로 전체 탄소배출량의 37%, 36%, 13.5%와 7.2%를 차지한다(그림 2).

〈그림 2〉 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술(과학기술정보통신부, 2021)



수소, 바이오에너지, 산업 저탄소화 분야에서 철강-시멘트, 석유화학, 산업공정 고도화, CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage), 수송효율 분야와 건물효율 분야이며 디지털화가 전분야에 공통으로 적용된다. 참고로 각각의 분야는 2018년도 기준으로 전체 탄소배출량의 37%, 36%, 13.5%와 7.2%를 차지한다(그림 2).

III. 2050 탄소중립 에너지기술 로드맵

2021년 9월 탄소중립기본법이 국회를 통과하여 세계 14번째로 법제화 되었으며, 10

월에는 2050 탄소중립 달성을 가속화 하고자 2030년 국가 온실가스 감축목표 (NDC)를 26.3%에서 40%로 대폭 상향하기로 결정하고 이를 반영한 '2050 탄소중립 시나리오'를 발표하였다.

'2050 탄소중립 시나리오'는 2050년 온실가스 순배출량 '0'을 달성하되 화력 발전 전면 중단 등 탄소배출 자체를 최대한 줄이는 A안, 액화천연가스(LNG) 발전이 잔존하는 대신 탄소포집·이용·저장기술(CCUS) 등 온실가스 제거기술을 적극 활용하는 B안이 제시되었다. 즉, 산업 부문에서는 수소환원제철 등 온실가스를 비배출 공정기술 도입과 화석 연·원료를 재생 연·원료로 전환하며, 건물 부문에서는 에너지절감 건축물, 친환경 새단장 등으로 건축물의 에너지 효율 향상을, 수송 부문에서는 대중교통 이용 확대, 승용차 통행량 감소 및 무공해차 보급률을 85%~97% 이상으로 제시했다. 농축수산 부문은 저탄소 영농법 확대, 폐기물 부문은 폐기물 감량, 재활용 확대 및 바이오가스의 에너지 활용 등을 제시하였다(그림 3).

2021년 11월과 12월에는 산업통상자원부가 '탄소중립 산업 에너지 R&D 전략'과 '탄소중립 에너지기술 로드맵'을 발표하여 2030 NDC 달성 및 2050 탄소중립 실현에 필요한 13대 분야 197개 에너지기술의 개발일정, 확보방안 등을 구체적으로 제시하였다. 즉, 에너지 생산 부문에서는 청정연료(수소·암모니아) 기반 무탄소 발전 전환과 재생에너지의 핵심으로서 태양광 발전 효율 향상 및 풍력터빈 대형화의 개발목표를 제시하였고, 에너지 전달 부문에서는 블루수소 및 그린수소 생산으로 수소화, 재생전력의 안정화를 위한 에너지 저장 및 전력계통 선진화, 에너지 고효율화 목표가 제시되었다. 산업 부문에서는 철강, 석유화학, 시멘트, 정유 분야의 저탄소 공정기술 확보 및 탄소 다배

“ 산업통상자원부는 2030 NDC 달성 및 탄소중립위한 13대 분야 197개 에너지 전략 제시 ”

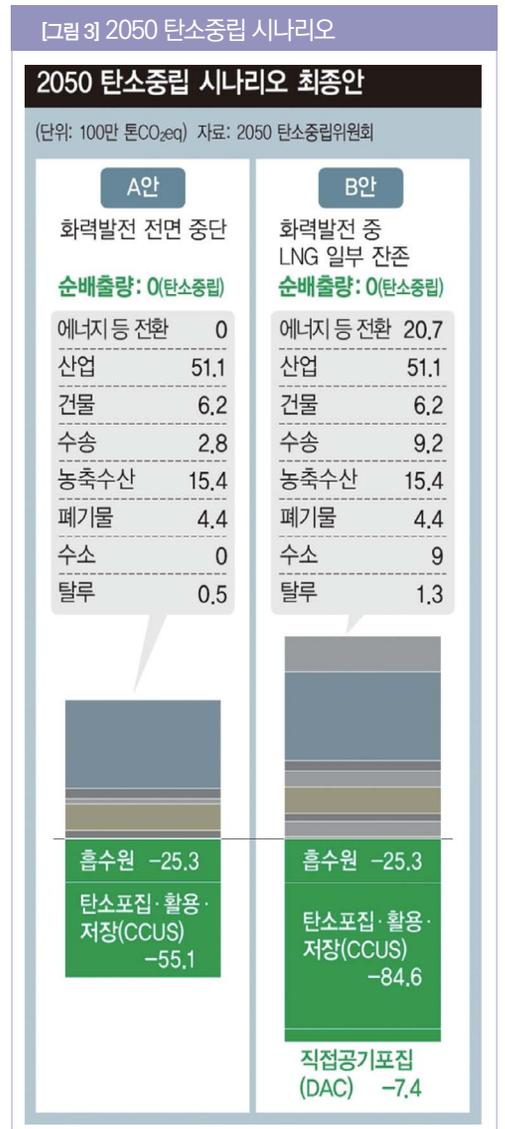


그림 4 '2050 탄소중립 에너지기술 로드맵' 분과별 핵심목록 (산업통상자원부, 2021)



출설비 전환의 목표가 제시되었으며, 탄소 포집 부문에서는 CCU(Carbon Capture Utilization) 기술 상용화 및 중·대규모 CCS(Carbon Capture Storage) 실증의 2050년 달성목표가 제시되었다(그림 4).

IV. 맺음말

현재 정부가 발표한 '2050 탄소중립 시나리오'에 대한 사회 각계각층의 논의가 뜨거운 수준을 넘어 자칫 정치적인 갈등으로까지 악화되지 않을까 우려가 큰 상황이다. 탄소중립위원장 윤순진 서울대 교수는 인터뷰에서 "탄소중립은 누구도 가보지 않았던 길이기에 다양한 사회적 실험이 필요하며, 모두가 내 문제라고 공감하고 참여하여야 한다"는 의견을 밝혔으며(한겨레, 2021), 대덕넷이 실시한 '기후변화와 탄소중립 실현' 설문결과에 따르면 응답자의 96%가 탄소중립은 정치논리가 아닌 과학자가 기술로써 풀어야 한다고 답하였다(대덕넷, 2021). 한국환경연구원, 대한전기협회 등에서 실시한 설문결과에서도 우리 국민 대다수(86%)가 기후위기에 대해 "심각하다"고 느끼고 있으며 83%는 탄소중립 목표가 "어렵지만 실현을 위해 노력해야 할 것"이라고 답하였고,

“ 전문가의 96%는 탄소중립을 정치 논리가 아닌 과학 기술로 접근해야 함에 공감대 형성 ”

그 중 전문가의 86%는 “어렵지만 실현 가능하다”는 답변을 하였다. 현재 계속해서 발표되고 있는 관계부처의 탄소중립 시나리오, 로드맵, R&D 전략 등을 최종본이라고 보고 그 실현 가능성과 막대한 비용을 문제 삼는 것은 적절하지 않은 접근법이라고 사료된다. 이들은 무수한 불확실성이 포함된 장기 미래인 2050년 탄소중립으로 가기 위한 여러 가지 방법 중 현시점에서 도출된 하나의 가능성 있는 방법이며, 앞으로 탄소중립에 도달하기 위한 최적 경로를 찾는 연구가 범과학기술계에서 수행되면 계속해서 업데이트 될 것이기 때문이다.

한편 과학기술정보통신부는 12월 개최된 ‘탄소중립 혁신기술 심포지엄’에서 탄소감축에 직접적인 기여도가 낮은 기후변화적응을 ‘탄소중립 기술혁신 추진전략’ 10대 핵심기술에서 제외하였다고 설명하였다(과학기술정보통신부, 2021). 다만 2021년 3월 발표된 ‘제3차 국가 기후변화 적응대책 세부시행계획’에서 신기후체제 대응 예측기술 고도화를 위해 미래기후 시나리오 생산 및 기후변화 예측기술 고도화를 기상청과 해양수산부가 세부이행과제로 수행하게 되어 있으므로, 향후 탄소중립 시나리오 수정 시 기후변화 시나리오가 반영될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 2050 탄소중립위원회, 2021: 대한민국 정책브리핑, 탄소중립을 향한 1년간의 여정.
- 과학기술정보통신부, 2021: 탄소중립 실현을 위한 과학기술의 역할, 탄소중립 혁신기술 심포지엄 (2021.12.1.).
- 관계부처합동, 2021.03: 제3차 국가 기후변화 적응대책(2021~2025) 세부시행계획.
- 관계부처합동, 2021.12: 에너지 탄소중립 혁신전략, 탄소중립 선도기업 초청 전략 보고회.
- 관계부처합동, 2021.12: 탄소중립 산업 대전환 비전과 전략, 탄소중립 선도기업 초청 전략 보고회.
- 대덕넷, 2021: 기후변화, 과학계 역할 기대 95.7%(2021.8.17.).
- 대한민국정부, 2020: 지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략.
- 산업통상자원부, 2021.11: 탄소중립 산업-에너지 R&D 전략, 제2차 탄소중립 산업전환 추진위원회.
- 에너지경제연구원, 2021: 전 세계 탄소중립 선언 동향 및 평가, 세계 에너지시장 인사이트, 제21-21호.
- 에너지데일리, 2021: 국민-전문가 다수, '탄소중립' 어렵지만 실현 가능할 것(2021.12.13.)
- 한겨레, 2021: 탄소중립이 가능해? 아니라 '어떻게'를 물어야 할 때(2021.6.9.).

‘2050 탄소중립’과 기후변화 과학

전의찬 세종대 기후에너지융합학과 교수 ecjeon@sejong.ac.kr

- I. 전 지구적 기후변화 대응의 근거를 제공한 기후변화 과학
- II. 최근 기후변화와 기온 상승의 원인은 온실가스 배출 증가
- III. 기후변화 대응, 탄소중립
- IV. ‘탄소중립’ 성공을 위한 기후과학의 역할

선진국과 개도국, 산유국과 비산유국 등 각 국가가 처한 현실에 따라 기후변화와 관련된 이해관계는 크게 다르게 나타난다. 이런 상황에서 기후변화협약이 채택될 수 있었던 것은 1990년 발행된 IPCC 제1차 평가보고서가 기후변화의 과학적 결과를 제공한 덕분이다. 온실가스 농도 증가는 온실가스 배출이 계속 증가하고 있음을 의미하며, UN기후변화협약이 출범한 지 29년 되었지만 전 지구적 기후변화 대응은 분명한 성과를 보이지 못하고 있다는 것을 나타내고 있다. 특히, 1990년 대비 2017년 우리나라의 온실가스 배출량은 143% 증가하여, 전세계 11위를 기록했다. 이에 우리나라는 2021년 5월 29일 대통령 소속 『2050 탄소중립위원회』를 출범시켰고, 9월 25일에는 ‘(약칭)탄소중립기본법’을 공포한 바 있다. 전세계적 노력이 결실을 맺는다면 2050년경 각국의 탄소중립 목표는 달성될 수 있을 것이다. 이를 위해 점점 더 위기 상황으로 치닫고 있는 기후변화 현상을 탐지하고 그 원인을 과학적으로 분석하여 대응방안 수립의 기초자료를 제공하는 기후과학의 역할이 요구된다. ■

“ IPCC 제6차 평가 보고서는 지구온난화 원인이 인간임을 명백히 지적 ”

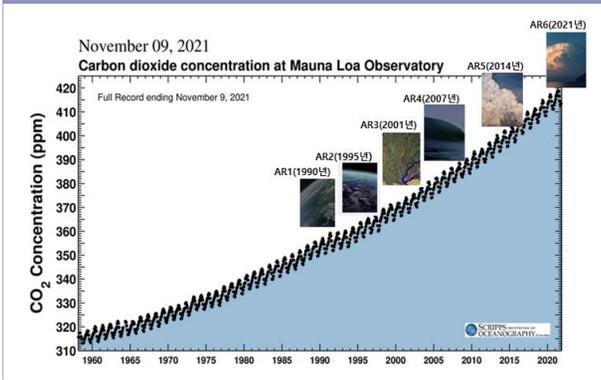
I. 전 지구적 기후변화 대응의 근거를 제공한 기후변화 과학

2018년 8월 서울의 최고온도는 40℃에 육박하며 근대 기상관측을 시작한 지 111년 만에 가장 높은 온도를 기록하였고, 홍천은 40.6℃로서 우리나라 기상관측 사상 최고온도를 경신하였다. 1970년대까지도 한강에서는 모든 시민이 스케이트를 즐겼지만, 최근 한강은 한겨울에도 얼지 않거나 얼어도 살얼음이다. 여름철 장마를 생각하면, 어릴 적에는 6월 말부터 한 달 동안 주룩주룩 비가 내렸었는데, 2020년 여름 장마는 기상관측 사상 가장 긴 54일간 계속되었다. 그러면서 마치 열대 '스콜'처럼 난데없이 비가 쏟아지고 멈추기를 반복했다. 이제 '기후변화'는 더 이상 일상에서 낯선 단어가 아니다.

인류 역사상 기후변화를 과학적으로 밝힌 첫 보고서는 IPCC 제1실무그룹(WG1) 제1차 평가보고서이다(IPCC, 1990). 제2차 평가보고서는 “기후변화에 대한 인간의 영향을 식별할 수 있음”을(IPCC, 1995), 제3차 평가보고서는 “지구온난화가 ⅔의 확률로 인간의 활동”이라고 밝혔다(IPCC, 2001). 제4차 평가보고서는 “온실가스가 90%의 확률로 지구온난화의 원인”이라고 밝혔고(IPCC, 2007), 제5차 평가보고서는 “지구온난화의 원인이 95%의 확률로 인간의 영향”이라고 밝혔다(IPCC, 2013). 최근 발행된 제6차 평가보고서는 “인간의 영향 때문에 대기와 해양, 육지가 온난해지고 있는 것은 명백한 사실이다.”라고 발표하면서, 지구온난화 원인으로 인간의 영향을 지목하는 데 더 이상 확률을 사용하지 않았다(IPCC, 2021). 명백해서 더 이상의 확률을 사용할 필요가 없다는 것이다. 기후변화는 확실하고 인간의 영향에 의한 것이라고 과학은 말하고 있다.

전 지구적 기후변화 대응의 중심인 유엔기후변화협약(UNFCCC)은 1992년 브라질 리우에서 개최된 유엔환경개발회의(UNCED)에서 채택되었다. 선진국과 개도국, 산유국과 비산유국, 재생에너지 부국과 빈국, 그린란드와 투발루와 같이 나라에 따라 기후변화와 관련된 이해관계가 크게 다르다. 이런 상황에서, 기후변화협약은 채택될 수 있었던 것은 1990년 발행된 IPCC 제1차 평가보고서가 기후변화의 과학적 결과를 제공한 덕분이다. 제2차 평가보고서(1995)는 기후변화협약에서 구체

그림 1 전 지구 CO₂ 농도와 IPCC 평가보고서(<https://keelingcurve.ucsd.edu/> 재작성)

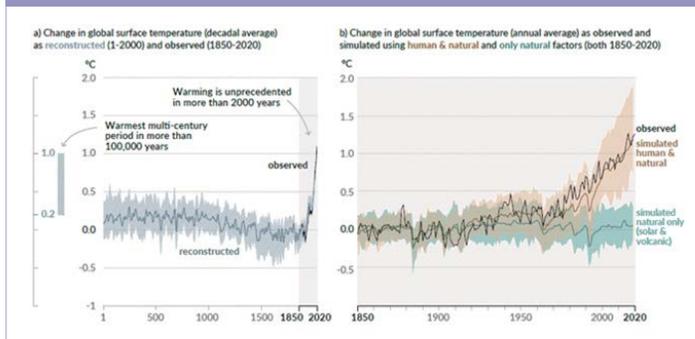


적인 온실가스 감축의무 국가와 감축률을 구체적으로 명시한 교토의정서(1997)의 근거가 되었으며, 제5차 평가보고서(2013)는 모든 당사국의 온실가스 감축의무를 규정하고, 신기후체제를 출범시키는 파리협정(2015)의 근거가 되었다.

II. 최근 기후변화와 기온 상승의 원인은 온실가스 배출 증가

IPCC 제6차 평가보고서는 “인간의 영향 때문에 대기와 해양, 육지가 온난해지고 있는 것은 명백한 사실이며, 대기권, 해양권, 빙권, 생물권에서 광범위하고 급속한 변화가 발생하고 있다.”고 밝혔다(IPCC, 2021). 제6차 보고서는 지난 40년간 기후가 산업화 시대(1850-1900) 이후 어느 때보다도 지속적으로 온난해졌다고 밝히면

그림 2 과거 지구 온도 변화와 최근 온난화 원인(IPCC, 2021)



서, 2011-2020년에는 1850-1900년 보다 지구 표면온도가 1.09°C 더 높았다고 밝혔다. 전지구 평균온도는 2001년 제3차 보고서에서 0.6°C(1901-2000년), 2007년 제4차 보고서에서 0.74°C(1906-2005년), 2013년 제5차 보고서에서 0.90°C(1901-2012년) 상승에서 보는 바와 같이 지속적으로 상승하고 있음을 보여주고 있다(그림 2).

제6차 보고서는 온실가스의 대기 중 농도가 계속 증가하여 2019년 평균 이산화탄소(CO₂) 농도는 410ppm, 메탄(CH₄) 농도는 1,866ppb, 아산화질소(N₂O) 농도는 332ppb에 달했다고 밝혔다. 이와 같은 온실가스 농도 증가는 온실가스 배출이 계속 증가하고 있음을 의미하며, UN기후변화협약이 출범한 지 29년 되었지만 전 지구적 기후변화 대응은 분명한 성과를 보이지 못하고 있다는 것을 나타내고 있다.

주요 국가의 온실가스 배출량은 <표 1>에서 보는 바와 같으며, 우리나라의 온실가스 배출량은 지속적인 증가추세에 있다(온실가스종합정보센터, 2020). IPCC 제1차 보고서가 발행된 1990년 이후 27년간 독일은 온실가스 배출량이 28% 감소했고, 미국은 1%, 일본은 2% 증가에 그쳤다. 그러나, 우리나라의 온실가스 배출량은 143% 증가하였으며, 세계 10위인 캐나다보다 0.6% 적은 11위로서 증가추세를 고려하면 현시점에는 우리나라가 온실가스 배출량 10위 국가임을 추정할 수 있다.

<표 1> 국가별 온실가스 총배출량 현황('17년 기준)(단위: 백만톤CO₂e)
(온실가스종합정보센터, 2020)

국 가	1990년	2010년	2017년	1990-2017년 증감률(%)
1 중국	-	10,543	12,476	-
2 미국	6,437	6,982	6,488	1%
3 인도	-	2,137	2,793	-
4 러시아	3,188	2,058	2,155	-32%
5 일본	1,270	1,303	1,28	2%
6 브라질	550	917	968	76%
7 이란	-	810	922	-
8 인도네시아	267	682	899	237%
9 독일	1,249	942	894	-28%
10 캐나다	603	691	714	18%
11 대한민국	292	656	710	143%

Ⅲ. 기후변화 대응, 탄소중립

2018년 인천에서 개최된 IPCC 제48차 총회에서 채택된 『1.5°C 특별보고서』는 2050년 탄소중립이 필요하다고 명시하였다(IPCC, 2021). 유엔기후변화협약은 제21차 총회에서 '파리협정'을 채택하였으며, '파리협정'에 따라 협약 당사국들은 2050년 저탄소발전전략(Long term low greenhouse gas Emission Development Strategies, LEDS)을 제시하여야 한다. 현재 UN기후변화협약 당사국의 ⅔에 해당하는 국가가 장기LEDs로 '탄소중립'을 선언하였다.

영국은 2019년 「기후변화법」을 제정하여 주요 선진국 중 최초로 탄소중립 목표를 법제화하였으며, 2030년까지 해상 풍력발전용량을 40GW까지 확대할 계획을 수립하였다. 독일은 최근 2030년까지 1990년 대비 65%의 온실가스를 감축하고, 2040년에는 88% 감축, 2045년 탄소중립을 달성하겠다고 밝혔다. 유럽연합(European Union, EU)는 2030 온실가스 감축목표를 1990년 수준 대비 55% 감

“ 우리나라는 2030년 감축목표로 2018년 배출량 대비 40%를 제시 ”

축하는 'FIT 55'를 발표하였다. 2030년 재생에너지 발전 비중을 65% 이상으로 상향하고, '탄소국경조정제도'를 도입하여 온실가스 배출이 많은 제품에 탄소국경세를 부과하는 것이다. 미국은 기후변화 대응과 청정에너지 시스템 구축에 4년간 약 2,400조 원을 투자하고, 2030년까지 상업용 신축건물의 탄소중립을 실현하고, 2035년까지 발전 부문의 탄소배출 제로를 달성하겠다고 발표하였다. 이처럼 '탄소중립'은 세계적인 추세이다.

우리나라는 2021년 5월 29일 대통령 소속 『2050 탄소중립위원회』가 출범하였고, 9월 25일에는 '약칭'탄소중립기본법'이 공포되었다. 이 법은 2030년 온실가스

감축목표를 35% 이상으로 명시하였고, 기후변화영향평가, 온실가스 감축인지 예산제도, 기후변화대응기금 조성 등 탄소중립 달성을 위한 중요한 규정들을 명시하고 있다. 『2050 탄소중립위원회』는 10월 18일 전체 회의를 열고 2030년 온실가스 감축목표로 2018년 배출량 대비 40% 감축하고, 2050년 탄소

(표 2) 2050년 탄소중립 시나리오(단위: 백만톤CO₂eq)(2050 탄소중립위원회, 2021)

구분	부문	2018년 배출량	2050년	
			A 안	B 안
배출량		686.3	0	
분야 별 배출	전환	269.6	0	20.7
	수송	98.1	2.8	9.2
	수소	-	0	9
	탈루	5.6	0.5	1.3
	산업	260.5	51.1	
	건물	52.1	6.2	
	농축수산	24.7	15.4	
	폐기물	17.1	4.4	
	흡수 및 제거	흡수원	-41.3	-25.3
	CCUS	-	-55.1	-84.6
	직접 공기포집	-	-	-7.4

중립 시나리오를 확정하였으며, 같은 내용이 10월 27일 국무회의에서 의결되었다. 문대통령은 11월 1일 제26차 기후변화협약 당사국총회에서 우리나라의 2030 온실가스 감축목표(Nationally Determined Contributions, NDC) 상향과 '2050년 탄소중립'을 선언하였다(표 2).

탄소중립은 우리나라의 산업과 일상을 크게 변화시킬 것이다. 2050년 화석연료는 거의 사라지고, 태양광발전과 풍력발전으로 80% 이상의 전기를 생산할 것이다. 모든 건물은 필요 에너지를 자체공급하는 '제로에너지 건물'로 지어질 것이다. 2019

“ 행성차원의 위기인 기후변화를 구체적으로 밝힌 것은 기후과학의 성과 ”

년에는 9만여 대로 전체 차량의 1%에도 미치지 못하던 전기차와 수소차가 2030년에는 450만 대로 신차 판매의 80% 이상을 차지하게 될 것이다. 2050년 우리나라 도로에는 거의 100%의 전기차와 수소차가 운행할 것이다. 또, 우리나라는 전기차 배터리 세계 1위 국가가 되고, 세계에서 수소차 생산량이 가장 많은 나라가 될 것이다. 2050년 '탄소중립'이 성공한다면, 온실가스를 다량 배출하는 화석연료는 우리의 일상에서 사라지고, 전 지구의 온실가스 배출은 제로가 될 것이다.

IV. '탄소중립' 성공을 위한 기후과학의 역할

지구가 직면한 행성 차원의 위기인 '기후변화'를 구체적으로 밝힌 것은 기후과학의 성과이다. 기후과학의 경고에도 불구하고, 지구촌은 '기후변화'를 진정시키지 못하고 있고, 오히려 기후변화는 가속화되고 있다. 전 지구적으로 유일한 해법은 '탄소중립'이다. '탄소중립'이 성공하기 위해선 점점 더 위기 상황으로 치닫고 있는 기후변화 현상을 탐지하고 그 원인을 과학적으로 분석하여 대응방안 수립의 기초자료를 제공하는 기후과학의 역할이 매우 중요하다.

기후변화 과학(Working Group 1, WG1), 기후변화 적응(Working Group 2, WG2), 기후변화 완화(Working Group 3, WG3), 온실가스 인벤토리(Task Force on Inventories, TFI)의 4개 분과로 구성된 IPCC 활동은 기후위기에 대응하기 위한 전 지구적 집단지성의 모범 사례이다. 이번에 발행된 IPCC WG1 보고서를 활용하여 전 지구적인 기후변화와 우리나라의 기후변화 위기를 파악하고, 국민이 기후변화에 대한 정확하고 제대로 된 인식을 갖도록 해야 한다. 2022년 발행될 WG2 보고서는 국가 차원과 지자체 그리고 개인 차원의 기후변화 적응에 대한 정보와 전략을 제공해 줄 것이고, WG3 보고서는 효과적인 온실가스 감축 전략과 경로에 관한 정보를 제공해 줄 것이다. 인벤토리 관련 실무그룹(TFI) 활동은 파리협정에서도 입된 국제적 이행점검(Global Stocktaking)을 위하여 중요한 역할을 할 것이다. IPCC의 중요한 정보가 우리나라의 탄소중립 성공에 제대로 된 역할을 하기 위해

“ 기후변화 관련 기상, 기후과학 교육과 범국민적 실천을 담보하기 위한 탄소중립 홍보관 필요 ”

서는 기상청과 기상과학원을 중심으로 IPCC 활동을 적극적으로 지원하고, 「2050 탄소중립위원회」의 활동과도 밀접하게 연계되어야 한다.

여러 설문조사 결과를 보면, 대부분의 국민은 기후변화를 알고 있다고 응답하고 있으나, 여전히 북극이나 다른 나라의 문제이지 우리 자신의 문제로 인식하지 않고 있다. 국민의 지지와 실천이 없다면 탄소중립은 성공할 수 없다. 기후변화 현상에 대한 시청각 교육을 통하여 기후변화가 날씨뿐만 아니라, 기업활동과 농업, 일상생활에 이르는 광범위한 영향을 미치는 것을 이해하여야 한다. 또, 온실가스와 그 배출특성을 이해하고, 산림에 의한 온실가스 흡수와 CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage) 등 온실가스 제거에 대한 교육, 그리고 일상에서 온실가스를 줄이기 위한 기후행동에 대한 교육이 필요하다. 기후변화와 관련된 기상과 기후과학을 교육하고 범국민적인 실천을 담보하기 위한 탄소중립 홍보관이 필요한 시점이다.

대통령께서 기후변화협약 당사국총회(COP26)에서 발표한 바와 같이, 2030 NDC와 2050 탄소중립은 “과감한 목표이며 도전적인 과제”가 분명하다. 그러나, 어렵다고 피할 수 있는 길이 아니고, 탄소중립위원회 슬로건처럼 “더 늦기 전에, 지금 바로 시작”해야 한다.

참고문헌

IPCC, 1990: FAR climate Change: Scientific Assessment of Climate Change.

IPCC, 1995: IPCC Second Assessment Climate Change 1995.

IPCC, 2001: The Synthesis Report of the Third Assessment Report.

IPCC, 2007: The Synthesis Report of the Fourth Assessment Report.

IPCC, 2013: The Synthesis Report of the Fifth Assessment Report.

IPCC, 2021: AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis.

IPCC, 2021: Global warming of 1.5°C.

2050 탄소중립위원회, 2021: 2050 탄소중립 시나리오.

온실가스종합정보센터, 2020: 2020년 국가 온실가스 인벤토리(1190-2018).

탄소중립 이행을 위한 신재생에너지 발전 분야의 이음새 없는(Seamless) 기후예측정보의 활용 제언

오지현 녹색기술센터 기술총괄부 선임연구원 jhoh@gtck.re.kr

- I. 기후위기 탈출을 위한 탄소중립 레이스의 서막
- II. 혁신기술이 견인하는 탄소중립
- III. 신재생에너지 분야의 이음새 없는(Seamless) 기후정보의 활용
- IV. 맺음말

탄소중립이란 배출되는 탄소량과 흡수·제거되는 탄소량을 같게 함으로써 공기 중으로 배출되는 실질적인 탄소배출량을 '0'으로 만드는 것으로서 우리나라와 같이 화석연료 의존도가 높은 국가에게는 결코 쉽지 않은 과업이다. 그럼에도 인류 생존 한계 상승 온도인 1.5℃를 지키기 위해 동참해야 할 시대의 주류이다. 우리나라는 「2050 탄소중립」을 선언하고 이를 법제화하였으며, 이를 실현하기 위한 움직임이 본격화되었다. 태양광, 풍력 등 신재생에너지 분야의 혁신적인 기술 개발은 필연적이다. 초단기부터 수십 년을 아우르는 다양한 시간 규모의 기상예측정보 활용을 통해 신재생에너지의 간헐성을 극복하고 탄소중립 사회로의 매끄러운 전환을 앞당길 수 있을 것으로 기대한다. ■

“ 2018-2020년 동안 '기후위기'는 20배, '기후비상사태'는 76배 사용빈도가 증가 ”

1. 기후위기 탈출을 위한 탄소중립 레이스의 서막

2015년 프랑스 파리에서 개최된 제21차 기후변화협약 당사국총회(COP21)에서 채택된 파리협정을 통해 전세계 195개국은 2100년까지 지구 기온 상승을 산업혁명 이전 대비 2°C 보다 낮은 수준으로 유지하고 더 나아가 1.5°C까지 제한하기로 합의하였다. 그러나 2018년에 발표된 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 특별보고서에서 전지구 평균온도가 2017년 기준 산업화 이전 (1850-1900년) 대비 약 1°C(±0.2°C) 상승했으며, 현재와 같은 추세로 지구온난화가 지속된다면 2030-2052년 사이에 지구의 온도 상승 폭은 1.5°C를 넘어서 2100년에는 3°C에 이를 것이라고 예측하였다.

옥스퍼드 영어사전의 연구에 따르면 '기후위기(climate crisis)', '라는 표현의 사용 빈도수가 2018년과 2020년 사이에 20배, 기후 비상사태(climate emergency)'의 경우 76배 증가하였다. 단순히 '기후변화'라는 표현으로 현 기후 상황을 표현하기에는 더이상 충분치 않은 상황에 도달했음을 직감할 수 있다. 결국 2018년 10월 인천 송도에서 열린 제48차 IPCC 총회를 기점으로 세계 각국은 인류 생존 한계 상승 온도인 1.5°C를 지키기 위해 오는 2050년까지 탄소중립을 선언하기 시작하였다.

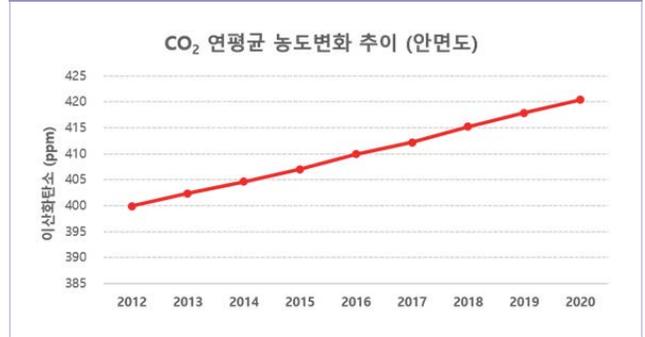
탄소중립이란 배출되는 탄소량과 흡수·제거되는 탄소량을 같게 함으로써 공기 중으로 배출되는 실질적인 탄소배출량을 '0'으로 만드는 것으로, 우리나라와 같이 화석연료 의존도가 높은 국가에게는 결코 쉽지 않은 과업이다. 2021년에 발표된 IPCC 제6차 평가보고서의 정책결정자를 위한 요약본의 본문 첫머리에서 대기와 해양, 육지의 온난화가 명백히 인간 활동에 의해 비롯된 것이라고 단언하였으며, 탄소배출량을 줄이기 위해 전세계가 획기적인 조치를 취하지 않는 한 2030년대에 1.5°C에 도달하게 될 것이라고 경고하였다. 18세기 산업혁명 이전의 이산화탄소 농도는 약 280ppm으로 거의 안정되어 있었으나, 산업혁명 이후 화석연료 사용과 함께 이산화탄소는 농도는 지속적으로 증가하여 2020년 413.2ppm으로 산업화 이전 대비 약 48.6% 증가하였다(종합기후변화감시정보)¹⁾. 우리나라 기후변화 감시소가 있는 안면도에서 측정한 2020년 이산화탄소 농도는 전세계 평균 농도보다 높은

420.4ppm을 기록했다[그림 1].

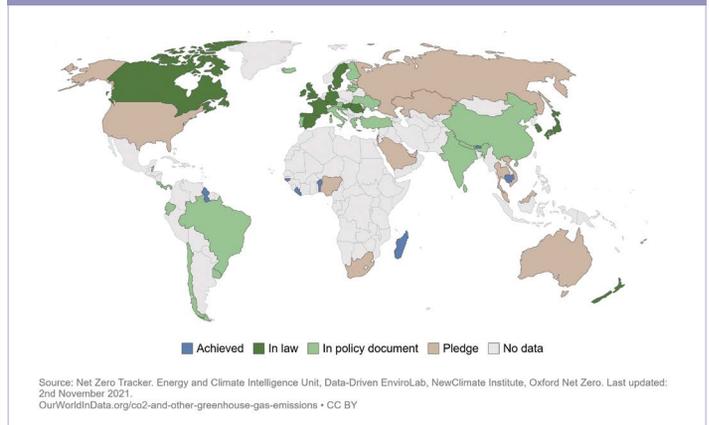
우리나라는 지난 2020년 10월 28일 대통령의 국회 시정 연설을 통해 「2050 탄소중립」을 공식적으로 선언하였고, 2020년 12월 관계부처 합동으로 2050 탄소중립을 위한 경제구조의 저탄소화, 新유망 저탄소산업 생태계 조성, 탄소중립 사회로의 공정전환의 3대 정책 방향과 이를 위한 탄소중립 제도적 기반 강화 내용이 포함된 3+1의 추진 전략을 수립하였다. 더 나아가 지난 2021년 9월 24일 '기후위기 대응을 위한 탄소중립-녹색성장 기본법(약칭 탄소중립기본법)'을 제정하여 전 세계에서 14번째로 2050 탄소중립 달성을 위한 법적 기반을 마련하였다[그림 2].

지난 2021년 10월 27일 국무회의에서 석탄 및 LNG등 화력발전을 전면 중단하고, 재생에너지 비중을 70.8%로 확대하는 A안과 석탄발전은 중단하나 LNG 발전을 일부 유지하고, 신재생에너지가 전력생산 비율의 60.9%를 담당하는 B안으로 구성된 2050 탄소중립 시나리오가 심의확정되었다. 이와 함께 2030년 국가 온실가스 감축목표를 2018년 대비 40%로 감축하도록 상향 조정하였다. 지금까지 2050 탄소중립 선언, 탄소중립 법제화, 2050 탄소중립 시나리오 확정까지 일련의 과정이 진행되어 왔다. 2050 탄소중립 시나리오와 2030년 국가 온실가스 감축 목표 달성의 핵심은 에너지 전환이며, 화석연료 중심의 전력생산에서 신재생에너지 중심의 에너지 공급 구조로 탈바꿈하는 이행이 남았다.

[그림 1] 안면도의 연평균 이산화탄소 농도변화 추이 (국립기상과학원, 2021)



[그림 2] 2021.11.2. 기준 전세계 탄소중립 현황(Our World in Data²)



1) <https://www.climate.go.kr>

2) <https://ourworldindata.org>

“ 국가의 CO₂ 배출량은
인구수, 경제규모,
에너지집약도,
탄소 집약도에 의해
결정 ”

II. 혁신기술이 견인하는 탄소중립

화석연료에 의존해왔던 에너지 분야에서 배출하는 탄소량은 전세계 배출량의 73.2%를 차지한다(Our World in Data)³⁾. 에너지 분야의 無탄소화 없이는 2050 탄소중립을 달성할 수 없는 것은 자명하다. 일본의 에너지 경제학자인 Yoichi Kaya가 제안한 카야 항등식(Kaya Identity)에 따르면 에너지 분야의 이산화탄소 배출요인은 다음과 같이 네 가지 요인으로 압축될 수 있다.

$$\text{CO}_2\text{배출량} = \text{인구} \times \left(\frac{\text{GDP규모}}{\text{인구}} \right) \times \left(\frac{\text{에너지소비량}}{\text{GDP규모}} \right) \times \left(\frac{\text{CO}_2\text{배출}}{\text{에너지소비량}} \right) \quad (1)$$

카야 항등식을 살펴보면, 한 국가의 이산화탄소 배출량은 크게 인구수, 경제규모(GDP규모/인구), 에너지집약도(에너지소비량/GDP규모), 탄소집약도(CO₂배출량/에너지소비량)에 의해 결정된다(식 1). 이 네 가지 요인 중 에너지집약도는 에너지 효율이 향상할수록, 탄소집약도는 탄소함유량이 낮은 에너지 사용률이 높아질수록 각각 낮아지게 되는데, 이는 결국 에너지 분야의 혁신적인 기술 개발을 통해 이루어질 수 있다.

과학기술정보통신부는 지난 2021년 3월 「탄소중립 기술혁신 추진전략」을 통해 그린 뉴딜, 장기저탄소발전전략(Long term low greenhouse gas Emission Development Strategies, LEDS) 등의 국가 상위계획과의 연계성이 높고, 온실가스 감축 기여도가 크며, 우리나라 주력산업과의 연관성이 높은 10대 핵심기술 분야(①태양광·풍력, ②수소, ③바이오에너지, ④철강·시멘트, ⑤석유화학, ⑥산업공정 고도화, ⑦수송효율, ⑧건물효율, ⑨디지털화, ⑩CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage))를 선정하여 각 기술 분야별 목표 및 기술 개발 중점 방향을 수립하였다. 그리고 신재생에너지 발전 효율과 경제성을 높이고, 산업·수송·건물의 저탄소화를 이끌어낼 수 있는 혁신적인 기술이 조기 상용화될 수 있도록

3) Our World in Data, 「Emissions by sector」 (최종접속일: 2021.12.8.)

“ 2020년 신재생 발전량은 전체 대비 7.43%이고, 그 중 태양광과 풍력이 52%를 차지 ”

개발 전략을 제시하였다. 미국, 일본, 영국 등 주요국들도 신재생에너지 분야를 포함한 탄소중립을 위한 핵심기술 개발 및 투자 전략을 수립하는 등 탄소중립 핵심 기술 분야의 성장이 가속화될 것으로 전망된다.

이처럼 온실가스 감축을 통한 혁신적인 기후변화대응 기술개발의 중요성이 날로 증대됨에 따라 우리나라는 지난 2021년 4월 20일에 「기후변화대응 기술개발 촉진법(이하 기후대응기술법)」을 제정하였다. 2021년 10월 21일부터 시행된 기후대응 기술법에 따라 혁신기술 개발을 위한 안정적이고 체계적인 기반이 확보될 것이다.

III. 신재생에너지 분야의 이음새 없는(Seamless) 기후정보의 활용

IEA(International Energy Agency)가 발표한 「2050 탄소중립 로드맵」에 따르면, 2050년 탄소중립 달성을 위해 2030년까지 태양광과 풍력발전에 의한 전세계 에너지 생산이 2020년 대비 4배 가까이 증가해야 한다고 전망하고 있다. 한국에너지공단이 지난 2021년 11월 발표한 국내 2020년 신재생에너지 보급통계에 따르면 신재생발전량은 총 발전량 대비 7.43%(43,062GWh)를 차지하였으며, 태양광과 풍력은 신재생에너지의 주요 에너지원으로 신재생에너지 전체 발전량의 약 52%(태양광 44.8%, 풍력 7.3%)에 해당하였다[그림3].

[그림 3] 2020년 신·재생에너지 보급 통계. (좌)신·재생에너지원별 발전 비중·증감률 및 기여도 (우)신·재생에너지원별 누적 설비용량 비중·증감률 및 기여도(한국에너지공단, 2021)

(단위 : MWh)

구분	2019		2020		전년대비 증감			
	발전량	비중%	발전량	비중%	발전량	증감률%	기여도%	
총 발전량	589,148,478	100.00	579,936,931	100.00	△9,211,548	△1.56	-	
신재생에너지	34,195,813	5.80	43,061,511	7.43	8,865,699	25.93	100.00	
재생에너지	30,879,376	5.24	37,161,788	6.41	6,282,411	20.35	70.86	
신 에너지	3,316,436	0.56	5,899,723	1.02	2,583,287	77.89	29.14	
재생	태양광	14,163,040	41.4	19,297,854	44.8	5,134,814	36.3	57.9
	풍력	2,679,158	7.8	3,149,798	7.3	470,640	17.6	5.3
	수력	2,791,076	8.2	3,879,383	9.0	1,088,306	39.0	12.3
	해양	474,321	1.4	457,263	1.1	△17,058	△3.6	△0.2
	바이오	10,415,632	30.5	9,938,354	23.1	△477,278	△4.6	△5.4
	폐기물	356,149	1.0	439,137	1.0	82,988	23.3	0.9
신	연료전지	2,285,164	6.7	3,522,350	8.2	1,237,185	54.1	14.0
	I G C C	1,031,272	3.0	2,377,374	5.5	1,346,102	130.5	15.2

주) 국내 총발전량은 사업자+상용자가+신·재생자가용 합계임

(단위 : MW)

구분	2019		2020		전년대비 증감			
	설비용량	비중%	설비용량	비중%	설비용량	증감률(%)	기여도(%)	
총발전설비용량	131,296	100.00	137,444	100.00	6,149	4.68	-	
신재생에너지	20,601	15.69	25,937	18.87	5,336	25.90	100.00	
재생에너지	19,785	15.07	24,979	18.17	5,194	26.25	97.33	
신 에너지	815	0.62	958	0.70	142	17.46	2.67	
재생	태양광	12,717	61.7	17,323	66.8	4,606	36.2	86.3
	풍력	1,494	7.3	1,645	6.3	151	10.1	2.8
	수력	1,809	8.8	1,807	7.0	△2	△0.1	△0.0
	해양	256	1.2	256	1.0	-	-	-
	바이오	3,141	15.2	3,526	13.6	385	12.2	7.2
	폐기물	368	1.8	422	1.6	54	14.6	1.0
신	연료전지	469	2.3	612	2.4	142	30.4	2.7
	I G C C	346	1.7	346	1.3	-	-	-

주1) 국내 총발전설비용량은 사업자+상용자가+신·재생자가용 합계임

주2) 혼소발전의 경우 혼소비율을 반영하여 보급용량 산정 : 혼소 설비용량(바이오 2,110MW, 약 59.9%), (폐기물 84MW, 약 17.1%)

“ 각 시간 규모의 기상 예측정보를 다양한 분야에 적용하여 한정된 자원 활용을 극대화할 수 있음 ”

그러나 2020년 신재생에너지의 총 발전 비중은 신재생에너지 누적설비용량인 18.87%에 비해 신재생에너지 발전 비중은 7.43%로 낮은 수치인 것을 확인할 수 있다. 「재생에너지 3020 이행계획」이 목표로 하는 2030년 재생에너지 발전량 비중 20%의 목표가 태양광·풍력 등 청정에너지 중심으로 원활히 달성될 수 있을지 미지수이다.

지난 2012년 ‘2030 탄소 프리 아일랜드’를 선언한 제주특별자치도의 경우 신재생에너지의 발전 비중이 2020년 기준 16.2%에 이르렀으나⁴⁾, 풍력발전 출력증가로 인한 전력공급 과잉을 해소하기 위해 발전기의 운전을 중단하는 풍력발전 출력제한이 2020년에 77회 발생하였다⁵⁾. 제주도 내 신재생에너지 발전 비중이 증가하면서 2015년 처음 발생한 제주도의 풍력발전 출력제한은 점점 그 빈도수가 증가하는 추세이다. 이처럼 「재생에너지 3020 이행계획」 목표에 가장 근접한 제주도의 사례를 통해서 알 수 있듯이, 재생에너지 발전 비중이 더욱 높아짐에 따라 풍량 및 일사량 등 기상조건에 의존하는 신재생에너지의 발전 특성으로 비롯되는 간헐성 문제를 극복하고, 발전 설비 운영 고도화를 통해 발전 효율을 향상시키기 위해 풍속, 풍향, 일사량, 습도, 운량 등 기상예측정보를 활용하여 발전량을 예측하고 전력설비 운영에 활용하는 시스템이 보급되어야 한다. 이에 다양한 시간 규모의 기상예측정보 활용을 제언하고자 한다.

현재 기상청이 제공하는 기상예측정보의 시간 규모는 초단기부터 수백 년까지 다양하다. 각 시간 규모의 예측정보를 에너지·정책·금융·안보 등 다양한 분야에 적용하여 한정된 자원의 활용을 극대화할 수 있다(표 1). 예측 시간 규모에 따라 예측시스템이 구분되어 있으나, 현재는 예측기술의 진보와 함께 단기 및 중·장기예보 사이에 ‘이음새 없는(seamless)’ 예측시스템 개발이 활발하게 진행 중이다. 현재 신재생에너지 발전량 예측에는 단기예측이 주로 사용되고 있지만, 계절내~십년~백년 단위의 중·장기 예측정보 및 기후변화시나리오 등 이음새 없는 예측정보를 발전

4) 2020년 연간 제주도 전력계통 운영실적(전력거래소)

5) <https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=5343388>

“향후 이음새 없는
예측정보 활용
고도화를 통해 발전량
예측 선행시간을
단축할 수 있을 것”

시설 입지 선정, 시스템 설계 및 운영, 전력수요 예측 등에 활용할 필요가 있다. 지난 2021년 10월 1일부터 전력거래소는 20MW 이상 설비용량을 보유한 태양광 및 풍력발전 사업자가 재생에너지 발전량을 하루 전에 예측하여 제출하고, 당일 일정 오차율 이내로 이를 이행할 경우 정산금을 지급하는 ‘전력중개 발전량 예측제도’를 실시하고 있다. 향후 이음새 없는 예측정보 활용 고도화를 통해 발전량 예측 선행 시간을 하루에서 더 길게 앞당길 수 있을 것이다.

한편, 예측 선행시간이 길어질수록 예측정보의 불확실성이 커지기 때문에, 예측정보의 활용 전략에 차이가 존재한다. 가령 계절예측의 경우 불확실성을 고려한 확률예측 방식으로 예측정보를 주로 생산하게 되는데, 이러한 예측 시간 규모의 특성을 고려한 적용방안을 함께 고안해야 한다.

〈표 1〉 단기에서 중·장기까지 이음새 없는 예측정보와 이를 활용한 기후변화 위험 및 영향을 최소화하기 위한 서비스 및 적용 분야 예시(Met Office, 2010)

	관측 및 과거 자료	예측 선행 시간 (단위)								
		시간 (Hour)	일 (Day)	주 (Week)	월 (Month)	계절 (Season)	년 (Year)	십년 (Decade)	백년 (Century)	
기상 예측 정보		단기예보								
			중기예보							
					1개월 전망					
						3개월 전망				
예측 정보 활용 예시 예측	기후 취약성 평가 기후							기후변화시나리오		
								온실가스 감축 정책 인프라 구축 계획		
								국내·외 안보		
	기후변화 시나리오 수립							기후변화 적응 전략		
								규제 표준화		
								위험관리를 위한 금융 및 자산 포트폴리오 수립		
								투자전략		
							구호 기관 및 국제 개발			
							시장 거래			
							유지·관리 계획			
							재난배상보험			
							에너지, 식량, 물 분야 자원 계획			
			운영 계획							
		중단계획								
	날씨 경보									
	긴급 상황 대응									

“ 기상예측정보 기반의 의사결정으로 균등화 발전비용 감소 가능 ”

과기정통부 탄소중립 기술혁신 추진전략 내 풍력 분야 기술 개발 주요 전략(표 2) 중 풍력단지 운전효율 향상을 위한 풍력단지 운전 신뢰성 확보기술과 계통연계 안정성 확보기술 개발을 위해 이음새 없는 기상예측정보가 도입될 필요가 있다. 풍력발전기 설계수명은 평균 20-25년으로 알려져 있으나 운영 및 유지 관리에 따라 기기의 수명이 좌우된다. 풍력발전 입지 선정부터 풍력발전 운영 종료에 이르는 전 주기에 걸쳐 기상예측정보에 기반한 의사결정을 통해 균등화발전비용(Levelized

Cost of Energy)을 낮출 수 있을 것으로 예상된다(그림 4).

과기정통부 탄소중립 기술혁신 추진전략 내 태양광 분야 기술개발 전략(표 3)을 살펴보면 향후 태양광 시스템의 적용처를 수상·해상과 도시 등으로 확대할 전망이다에 따라 다양한 입지환경에 특화된

〔그림 4〕 풍력발전 단지 개발 및 운영 단계별 기후예측정보 활용 예시(WMO, 2017)



〔표 2〕 탄소중립 기술혁신 추진전략 내 풍력 기술개발 전략(한국에너지기술연구원, 2021)

풍력 기술개발 전략					
중분류	현수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
풍력핵심부품 효율향상	5.5MW (블레이드 길이:70m)	10~15MW급 대형 블레이드	시스템 실증	사업화	(‘30)15MW급 핵심부품 실증/상용화 (블레이드 100m 이상)
		10MW급 직접 구동형 발전기/전력 변환기	실증/사업화		(‘40)120MW급 핵심부품 실증
풍력발전기 대형화	발전용량 5.5MW	고정식 풍력 발전기 대형화	실증/사업화	시스템 실증/사업화	(‘30)15MW급 고정식풍력 상용화
		부유식 풍력발전기 대형화	시스템 실증/사업화		(‘35)15MW급 부유식풍력 상용화 (‘50)20MW급 부유식풍력 상용화
풍력단지운영 효율향상	운전수명 20년	풍력단지 신뢰성 실증평가 기술	사업화		(‘30)풍력발전 단지 운전 수명 25년
		육/해상 출력 예측 및 활용 기술	실증/사업화		(‘30)출력 예측 정확도 95%

〈표 3〉 탄소중립 기술혁신 추진전략 내 태양광 기술개발 전략(한국에너지기술연구원, 2021)

중분류	현수준	태양광 기술개발 전략			목표
		단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	
초고효율 태양전지	전지 효율 ~26.7% 모듈 효율 ~21%	탠덤 셀 초격차화	탠덤 셀 초고효율화		(³⁰)탠덤 셀 효율 35%, 모듈 30%
		모듈 장기안정성/고내구성 확보		상용화 적용	(⁵⁰)다중접합 셀 효율 40% 이상
태양광 시스템	수상태양광 시스템 설치 단가 13.5 억원/MW	수상/해상 태양광 시스템	내구성 및 경제성 확보		수상태양광 설치 단가 4(³⁰)/2.7(⁵⁰) 억 원/MW
탄소중립 도시형 태양광	유연 태양전지 효율 ~20%	경량/유연/반투명/소감도 태양전지 고효율화(무기박막, 유무기페로브스카이트, 유기 등)			(³⁰)초경량 유연 탠덤 셀 효율 30%
		고집적 가능성 모듈 개발		사업화	(⁵⁰)고집적 고내구성 모듈

〈표 4〉 수상태양광 발전시설 후보지 선정시 고려사항(이성훈 외, 2012)

구분	인자	지표
발전량(효율)에 영향을 미치는 인자	일사량	연간 누적일사량이 상대적으로 높은 지역 선정
	안개	일사량에 직접적인 영향을 주는 안개 과다 발생지역 회피
	음영발생량	주변의 산, 건물 등의 영향으로 그림자가 발생하거나 일출시간이 늦거나 일몰시간이 빠른 지역 회피
설치 및 운영유지에 영향을 미치는 인자	수심	계류장치 설치가 어렵고 결빙 우려가 크거나, 수위가 낮은 지역 회피
	풍속	구조물의 설계 강도 증가에 따른 비용상승 및 안정도에 영향을 주는 요인으로서 풍속이 낮은 지역 우선 선정
	유속	홍수 시 유속이 크게 발생하는 지역 회피
	결빙지역	결빙에 따른 태양광 발전 설비 구조체 및 부력체에 변형을 초래하는 수심이 낮은 지역 회피
	부유물 유입 여부	부유물이 과도하게 유입되어 태양광 발전 설비 및 계류장치에 직·간접적인 영향을 주는 지역 회피
	접근성	설치공사가 용이하고 운영유지 시에 접근이 용이한 지역 선정
	취수탑·여수로 인근지역	취수나 방류시의 유속 변화에 태양광 계류시설이 지장을 받거나 취수나 방류에 영향을 주지 않는 지역 선정
	수면 이용여부	레저시설, 어업 활동 지역 등은 회피
전력계통 연계인자	한전의 배전선로의 여유용량	배전선로의 여유 용량이 충분한지 여부 및 향후 한전의 선로이용계획 고려
	배전선로까지의 거리	전압강하율이 ±5%가 넘지 않는 범위 내에서 계통연계에 필요한 비용이 과도하지 않는 지역 선정
	부하(수용가)까지의 거리	부하(수용가) 밀집 지역과 최대한 가까운 지역 선정
법적·제도적 영향인자	법령	상수원보호구역(수도법), 특별대책지역(환경정책기본법), 수변구역(관련수계법), 지역환경보전법, 야생동물식물보호법, 낚시금지구역, 수상레저활동금지구역 등 규제지역 회피
	민원, 보상	보상비가 과도하게 소요되지 않고 지역주민, 환경단체 등의 민원 발생 소지가 적은 지역 선정

“ 코로나19 규모의
봉쇄조치가 있어야만
배출량을 줄일 수
있다는 사실을
확인 ”

기상예측정보가 활용되어야 한다. 또한 태양광 발전 비중이 확대됨에 따라 기존에 설치되었던 태양광발전소에 대한 운영관리 및 유지보수 기술의 중요성이 부상할 것으로 보인다.

육상용지 부족 문제를 해결하고 산림 훼손 및 산사태 등의 재난 발생 방지를 위해 저수지, 댐, 방조제 등 유휴 수면에 설치하는 수상태양광은 수면 위 냉각효과로 육상 태양광에 비해 발전효율이 10% 가량 높아지는 것으로 알려져 있다. 수상태양광 발전시설 입지 선정시 고려해야 할 주요한 기상 변수로는 일사량, 안개발생량, 음영발생량, 풍속 등이 있으며<표 4> 기후예측 및 기후변화 시나리오 정보에 기반한 객관적이고 과학적인 분석을 통해 발전시설 입지를 선정해야 한다. 또한 집중호우나 태풍 예측으로 수상태양광 발전설비 피해 등에 선제적으로 대응할 수 있다.

IV. 맺음말

IEA의 「세계 에너지리뷰: 2020년 이산화탄소 배출」에 따르면 2020년 전세계 에너지 분야의 이산화탄소 배출량은 전년 대비 5.8%가 감소된 것으로 나타났다. 역대 가장 감소폭이며, 2009년에 불어닥친 전세계 금융위기 때보다도 5배나 큰 감소폭이다. 이는 전세계 신재생에너지 발전의 확대와 함께 코로나19의 영향으로 에너지 수요가 줄어든 것이 주된 요인으로 보인다. 이산화탄소 배출량이 줄어들었다는 것은 희망적인 소식이지만, 코로나19 규모의 전세계 멈춤 사태가 발생해야만 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있다는 사실을 확인하게 된 셈이기도 하다. 더욱이 2020년 에너지 분야의 이산화탄소 배출량 감소에도 불구하고 실제 대기중 이산화탄소 농도는 역대 최대를 기록한 것으로 보고되어 탄소중립의 길이 몹시 멀고도 험난한 길임을 다시 한번 실감하게 된다.

미국 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, NASA) 소속 과학자인 제임스 헨슨 박사는 1988년 6월 23일 미국 상원 청문회에서 최근 급격한 기온 증가는 바로 인간활동에 의한 온실효과 때문인 것을 99% 확신하며, 이

러한 온실효과는 폭염, 가뭄과 같은 극한 기상 발생 확률에 영향을 줄 것이라고 증언하였다. 지금으로부터 34년 전, 헨슨 박사의 수평해상도 $8^{\circ} \times 10^{\circ}$ 의 기후모델을 이용한 온실가스 반응에 대한 지구 기온 예측 결과는 옳았다.



탄소중립을 위한 에너지 대전환의 길은 결코 쉽지 않아 보이지만, 34년 전 헨슨 박사의 기후예측모델보다 훨씬 진보된 기후예측모델이 개발되었고, 엄청난 속도로 모델예측 결과를 생산할 수 있는 풍부한 계산자원, 그리고 기상위성 등의 고도화된 기상관측망이 존재한다. 다양한 시간 규모의 기상예측정보와 결합된 혁신적인 과학기술을 통해 탄소중립 이행이 순조롭게 진행되기를 기대해본다.

참고문헌

Hansen, J., I. Fun, A. Lacis, D. Rind, S. Lebedeff, R. Ruedy, G. Russell, and P. Stone, 1988: Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model. *J. Geophys. Res.*, 93, 9341-9364, doi:10.1029/JD093iD08p09341.

Hayhoe, K., J. Edmonds, R.E. Kopp, A.N. LeGrande, B.M. Sanderson, M.F. Wehner, and D.J. Wuebbles, 2017: Climate models, scenarios, and projections. In: *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I* [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, pp. 133-160, doi: 10.7930/JOWH2N54.

IEA, 2020: *World Energy outlook 2020*

Marta Terrado, Nube González-Reviriego, Llorenç Lledó, Verónica Torralba, Albert Soret, and Francisco J. Doblas-Reyes, 2017: *Climate Services for affordable wind energy WMO Bulletin Vol66(2)*

Met Office, 2010: *Met Office science strategy 2010-2015-Unified science and modeling for unified prediction*

Thomas Hale, Takeshi Kuramochi, John Lang, Brendan Mapes, Steve Smith, Ria Aiyer, Richard Black, Mirte Boot, Peter Chalkley, Frederic Hans, Nick Hay, Angel Hsu, Niklas Höhne, Silke Mooldijk, Tristram Walsh, 2021: *Net Zero Tracker*. Energy and Climate Intelligence Unit, Data-Driven EnviroLab, New Climate Institute, Oxford Net Zero.

- 국립기상과학원, 2021: 2020 지구대기 감시 보고서.
- 김백민, 2021: 우리는 결국 지구를 위한 답을 찾을 것이다, 블랙피쉬.
- 이성훈 외, 2012: 수상태양광 발전시스템 개발을 위한 적지조사에 관한 연구, Journal of the Korean Institute of Illumination and Electrical Installation Engineers, 26(7), p.34.
- 주진철, 허남주, 최선화, 이승현, 2018: 국내외 수상태양광 발전시설 설치 현황 및 주요 쟁점, 물과 미래, 51 (11), 34-41.
- 한국에너지공단, 2021: 2020년도 신재생에너지 보급통계.
- 한국에너지기술연구원, 2021: 탄소중립 기술혁신 추진전략-10대 핵심기술 개발 방향.

2050 탄소중립 달성을 위한 생태계의 역할

이동근 서울대학교 조경·지역시스템공학부 교수, dkleee7@snu.ac.kr

- I. 서론
- II. 국내·외 탄소중립 정책 현황
- III. 탄소중립을 위한 자연기반해법
- IV. 생태계의 공편익
- V. 도시미기상 데이터의 확보
- VI. 결론

우리나라를 비롯한 전세계는 탄소중립 달성을 위해 많은 노력을 기울이고 있으며, 완화와 적응의 공동효과를 위해 자연기반해법(Nature based Solution, NbS)이 최근 많은 주목을 받고 있다. 자연기반해법은 지속가능한 생태계 개선과 생태계 및 생물종 다양성 보호를 도모하며 기후변화 경감과 대응을 위해 생태계를 활용하여 사회적 문제를 해결하는 방법을 말한다. 이러한 자연기반해법은 탄소흡수뿐만 아니라 다양한 혜택을 인간들에게 제공하고 있다. 자연기반해법은 탄소중립 뿐만 아니라 기후변화 적응, 환경문제, 정책적 목표 달성에 대해 다양한 공동효과를 기대할 수 있으며, 비용 효율적인 대안으로 중요한 해법이 될 수 있을 것이다. ■

“ 2011-2020년 전지구
지표평균온도는
1850-1900년
대비 1.1°C 상승한
수준 ”

I. 서론

무더운 여름이 지나가는가 싶더니 가을을 느낄 새도 없이 겨울이 왔다. ‘역대급 폭염’, ‘최고온도 갱신’, ‘짧아진 가을’ 등의 익숙한 표현들에서 알 수 있듯이 우리는 이미 기후변화를 체감하면서 지내고 있다.

기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에서 발간된 제6차 평가보고서(AR6 WG1)에 따르면 2011-2020년 기간의 전지구 지표 평균온도가 1850-1900년 기간 대비 약 1.1°C 상승한 것으로 나타났으며, 이는 명백한 인간 활동 때문으로 나타났다(IPCC, 2021). 또한 향후 20년 안에 1.5°C 지구온난화를 넘어설 가능성이 매우 큰 것으로 나타났고, 2050 탄소중립을 달성해야 2100년 지구온난화 1.5°C 이하 수준으로 억제할 수 있다고 한다. 이에 우리나라를 비롯하여 전세계는 2050 탄소중립을 위해 고군분투 중이다.

II. 국내·외 탄소중립 정책 현황

파리협정을 통해 전세계 모든 국가는 산업혁명 이전 대비 지구 기온 상승을 2°C 보다 낮은 수준으로 유지하고 더 나아가 1.5°C 이하로 억제하기 위하여 국제사회는 탄소중립 달성에 노력을 경주하기 시작하였다.

미국은 2017년 파리협정 탈퇴 이후, 2021년 재가입하였으며, 2050년까지 넷제로(Net-Zero)를 목표로 총 2조 달러 규모의 투자 정책을 추진하고 있다. 건물 부문에서는 단열 성능 보강 등의 그린 리모델링 사업 추진, 2030년까지 상업건물 넷제로 의무화, 국공립학교 에너지 효율 강화 등의 사업이 포함된다. EU의 경우에는 2050년 기후중립을 목표로 향후 10년간 약 1조 유로를 투자하는 정책을 추진하고 있으며, 주요 내용으로는 재생에너지 사용비중을 확대하고, 건물에서는 에너지 성능 규제를 법제화하는 등 탄소중립 달성을 위한 노력을 추진하고 있다. 우리나라는 2050 탄소중립 달성을 위해서 「2050 장기저탄소발전전략(Long term low

greenhouse gas Emission Development Strategies, LEDES) 및 「2030 국가온실 가스감축목표(Nationally Determined Contributions, NDC)」를 수립 후 UN에 제출하여 국제사회에 탄소중립에 대한 의지를 보여주고 있으며, 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」이 지난 '21년 8월에 국회에서 통과되어, '21년 9월 제정 '22년 3월 시행을 앞두고 있다.

하지만 감축 및 기술만으로는 탄소중립 달성이 어려운 한계가 있어, 다양한 흡수 방안을 동시에 고려하고 있다. 탄소흡수 방안으로는 탄소 포집 및 활용·저장 기술(Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS) 등 기술을 활용하는 방법과 자연을 이용한 흡수 방법이 존재한다. 또한 파리협정문과 IPCC 보고서 등 최근 국제 기후변화 논의에서 온실가스 감축과 기후변화 적응 연계의 필요성이 제기되고 있으며, 이에 적응 및 완화의 공동효과뿐만 아니라, 다양한 분야와 정책적 목표를 동시에 달성하기 위하여 자연기반해법(Nature based Solution, NbS)이 주목받고 있다.

“ 적응, 완화와 함께 다양한 분야의 정책 목표 동시 달성 위한 자연기반해법이 주목받고 있음 ”

III. 탄소중립을 위한 자연기반해법

1. 자연기반해법의 정의

자연기반해법은 지속가능한 생태계 개선과 생태계 및 생물종 다양성 보호를 도모하며 기후변화 경감과 대응을 위해 2009년 IUCN(International Union for Conservation of Nature)에 의해 처음 소개된 이후 과거에 거론되었던 접근법들을 아울러 여러 보전접근법의 공통성을 강조한 상위 용어로서 제안되어 현재 전세계적으로 사용되고 있다(그림 1).

자연기반해법에 대해 전세계적으로 합의된 정의는 아직 없으나, IUCN과 EU의 정의에 따르면 사회적 문제를 자연 본연의 회복력에 근

[그림 1] 자연기반해법의 정의(IUCN, 2020a)



“ 자연기반해법은 전세계 사회 및 생태계적 주요 과제 해결에 대한 잠재성을 강조 ”

거해 환경적으로 해결하는 방식을 의미한다. 이러한 자연기반해법은 생태계의 기능을 강화하여 사회적 문제 해결뿐만 아니라 식량 안보, 기후변화, 물 안보, 인간의 건강, 재난위험, 사회-경제 발전 등 지속가능발전목표(Sustainable Development Goals, SDGs)의 전반과 파리협약 목표 달성에 기여할 수 있을 것이다<표 1>.

한편, 자연기반해법의 개념은 유엔의 지속가능발전목표(SDGs), 파리협정, 아이치 목표, 본 챌린지(Bonn Challenge), 재해위험 저감을 위한 센다이 강령(Sendai Framework for Disaster Risk Reduction) 등 핵심 국제

<표 1> 국제기관에서의 자연기반해법 개념

기관	정의
IUCN (세계자연보전연맹)	· 자연 본연의, 또는 변형된 생태계를 보호·지속가능하게 관리·복원하는 방안으로서 사회적 한계에 대한 적응·해결과 인간의 복지 및 종 다양성의 이점을 제공하는 행동들
EU (유럽연합)	· 자연에서 영감을 얻고 자연이 뒷받침하는 동시에 환경·사회·경제적 이익을 제공하며 복원력 구축을 돕는 비용 효율적인 해결방안

협약 목표를 달성하는 데 도움이 되는 통합적 접근법을 제시하고 있다. 자연기반해법은 2019년 유엔 기후정상회의(UN Climate Summit)에서 승인되었고, 「지구온난화 1.5°C 특별보고서」(IPCC, 2018), 「기후변화 및 토지 보고서(Climate Change and Land Report)」(IPCC, 2019), 「IPBES 전세계 생물다양성 평가 보고서(Global assessment report on biodiversity and ecosystem services)」(IPBES, 2019)에서 전세계 사회 및 생태적 주요 과제 해결에 대한 그 잠재성을 강조하고 있다.

「기후변화 및 토지 보고서」에 따르면 현재 NDC에서 배출 감소의 약 25%는 토지 사용 부문 중 주로 산림에서 이루어지고 있으며, 자연기반해법만으로도 2030년까지 비용효율적으로 탄소 배출량의 약 1/3을 줄일 수 있을 것이라 말하고 있다(IPCC, 2019).

또한, 전세계 80개국은 NDC의 기후 공약에서 자연 기반 솔루션의 확대 의향을 표명하고 있으며, 이에 탄소중립 달성을 위해 자연 기반 솔루션을 통한 기후변화 완화, 적응 등 기후변화 대응을 위한 생태계의 증진이 필요하다.

2. 자연기반해법의 사례 및 국제적 동향

전세계적으로 기후위기 대응에 있어 온실가스 감축과 기후변화 적응의 공동 효과 고려는 미흡한 실정이다. 이에 따라 최근 기후변화와 관련한 국제적인 논의에서는 온실가스 감축과 기후변화 적응의 연계 필요성이 제기되고 있다. 유럽 내 885개 도시 중 147개 도시에서만 온실가스 감축과 기후변화 적응의 공동 효과를 고려하고 있으며, 실제 공동 효과 고려 대책이 선진화된 도시는 147개 중 단 18%로 파악되고 있다(Grafakos et al., 2020).

특히 온실가스 감축 달성을 위해 생태계의 온실가스 저장능력을 인지하는 자연기반해법이 주목을 받고 있다. 우선 산림의 경우에는 조림과 산림관리, 산림파괴 억제 등을 통한 육지생태계 기후변화 완화 잠재력 측면에서 열대/아열대 지역에서는 산림이 빠르게 자라 알베도(albedo) 감소의 효과를 기대할 수 있으며, 산림파괴 억제, 토지황폐화 방지를 통하여 매년 0.4~5.8GtCO₂의 온실가스 저감 효과를 기대할 수 있다. 또한 조림, 재조림을 통하여 매년 0.5~10.1GtCO₂의 온실가스 흡수 및 저장 효과를 기대할 수 있는 것으로 밝혀졌다(Seddon et al., 2020).

IUCN은 해양, 산림, 습지, 농업, 도시 등에 자연기반해법의 적용 가능 범위를 제시하고 있다. 해양생태계의 보전 및 복원을 위한 자연기반해법은 커뮤니티 회복탄력성(Resilience)을 증가시키며, 재해 위험을 줄이며 경제적 발전을 도모할 수 있으며, 산림지역의 보호, 복원 및 지속할 수 있는 이용을 위한 자연기반해법은 산림으로부터의 물공급을 안정시키며, 산림의 침식과 위험을 조절·경감시키는 효과를 가지고 있다고 말하고 있다. 또한 습지의 보호, 복원, 관리 등의 자연기반해법은 물을 저장하며, 홍수 조절, 서식지 제공, 물이 자연스럽게 흐르도록 여유 공간을 제공할 수 있으며, 농업생

“ IUCN은 해양, 산림, 습지, 농업, 도시 등에 자연기반해법의 적용 가능 범위를 제시 ”

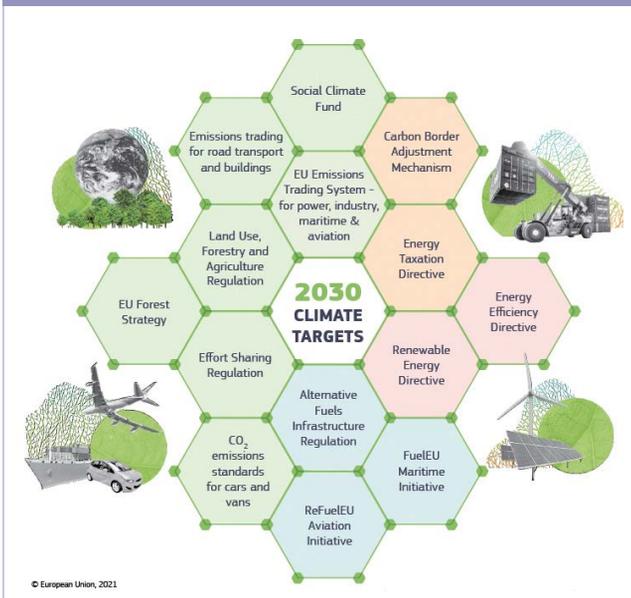
[그림 2] 자연기반해법의 적용 범위 개념도(IUCN, 2020b)



“ 국제적으로 자연기반 해법의 감축도 인위적 활동이라는 논의가 시작 ”

태계의 지속할 수 있는 관리는 식량 안보에 도움을 주며, 수원을 조절하고 사회경제적 발전을 제공한다고 주장하고 있다. 마지막으로 도시공원, 녹지, 하천 등은 인간 거주 환경의 기후를 조절해 건강에 도움을 주며, 사회적 발전과 녹색 산업을 증진시킬 수 있다고 한다(그림 2).

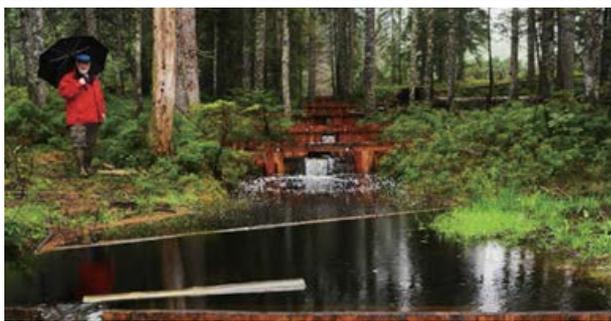
[그림 3] EU그린딜의 2030 기후목표



EU는 그린딜에서도 자연기반해법을 적용하고 있으며, 이를 활용하여 2050년까지 온실가스 순 배출 금지, 자원 사용에서 분리된 경제 성장 등 자원효율적이고 경쟁력 있는 경제로 변화하고자 노력하고 있다. EU는 그린딜을 통해 에너지, 산림, 토지이용, 교통, 무역 등 15개 부문 2030 기후목표를 설정하여 적응과 완화를 구분하지 않고, 기후변화에 대응하기 위한 미래 모습 설정 후 통합적인 관점에서 접근하고 있다. 특히 2050년까지 30억 그루의 조림을 통해 이산화탄소 흡수량을 증가시키고자 하며, 생물다양성 가치가 높은 지역을 보호하기 위한 기준 제시를 통해 동시에 기후 변화 적응을 지원하고 있다(그림 3).

독일의 Spreewald 지역과 Inner Salzkammergut 지역에서는 하천 복원 및 이탄습지의 복원을 통해 멸종위기종의 서식처를 제공하고 지역의 물 균형 개선뿐만 아니라 온실가스 흡수, 생물종 및 서식처 보존 등의 효과를 동시에 누리고 있다(Ecologic Institute, 2014)(그림 4).

[그림 4] Inner Salzkammergut의 이탄습지 재활성화



한편, 국제적으로 자연기반해법을 적용한 온실가스 감축도 인위적 활동기반이라는 개념이 논의되기 시작하였으며, 이에 대한 국제사회의 노력은 국제 규범의 변화에서 찾을 수 있다. 교토의정서

“ 생태계가 인간에 제공하는 혜택은 생태계서비스에서 인간에 대한 자연의 기여로 개념이 발전 ”

에서는 토지이용, 토지이용 변화 및 임업(이하 ‘LULUCF’, Land Use, Land Use Change, and Forestry)의 개념이 채택되었으며, 활동과 관련된 용의가 정의되기 시작하였다. 마라케쉬 합의문에서는 LULUCF에 대한 관리 원칙과 함께 방법론에 대한 논의를 시작하였으며, 파리협정에서는 인위적 활동에 의한 배출량 및 감축량 산정을 위한 산정 규칙의 필요성이 제기되기 시작하였다.

IV. 생태계의 공편익

생태계는 인간에게 다양한 혜택을 제공한다. 생태계가 제공하는 직·간접적인 혜택을 생태계서비스라 정의하고 있으며, 새천년생태계평가(Millennium Ecosystem Assessment, MA)의 생태계서비스 개념 이후 최근에는 인간에 대한 자연의 기여(Nature’s Contribution to People, NCP)의 개념으로 발전되어 왔다(Diaz et al, 2018). NCP는 물질 NCP(에너지, 식품, 재료, 의학, 생화학, 유전자원 등), 비물질 NCP(학습과 영감, 신체적/심리적 경험 등), 조절 NCP(서식지 조성 및 유지관리, 대기질/기후/해양산화/해안수질/담수량조절 등) 등으로 구분할 수 있다(그림 5).

그림 5 NCP의 개념 및 종류 (Diaz, Sandra, et al, 2018)



〈표 2〉 자연기반해법의 내용과 기대효과

효과	도시 녹지 조성	고지대 산림 보호 및 복원	농업 다양화 (혼농임업, 생태농업 등)	바이오매스 (biochar, 바이오연료 등)	강 유역 보호 및 복원 (하안림, 맹그로브 등)	연안 생태계 보호 및 복원 (맹그로브 등)
식량 안보	○		○	○		○
건강과 휴식	○	○				○
물 안보		○			○	
사회적 통합	○					
경제 발전	○	○	○		○	○
연안 보호						○
재해 경감	○	○			○	○
오염 여과	○	○				○
토지 개선	○	○	○	○		
탄소 격리	○	○	○	○		○
열 완화	○	○				
서식지 제공	○	○				○

자연기반해법의 경우 적응 및 완화의 공통효과뿐만 아니라 지속가능한 발전(SDGs) 등 다양한 분야와 정책적 목표를 동시에 달성하는데 도움을 줄 수 있다. 건물 벽면 녹화를 하는 경우 실내온도 저감을 위한 에너지 소비 감소, 온실가스 배출 방지 등의 효과와 함께 인접 지역의 기후조절, 서식처 조성, 삶의 질 향상 등의 효과가 있다는 연구가 보고되고 있으며(Ecologic Institute, 2014), 다양한 지역에 적용 가능한 자연기반해법은 많은 공통효과 혹은 공편익을 제공하고 있다.

즉, 자연기반해법은 기후위기 대응을 위하여 생태계 보존·조성, 훼손된 생태계 복원, 도시생태계 건강성 제고 등 다양한 생태계에서의 다양한 방법의 접근이 필요하며, 생태계가 제공하는 공편익으로 인하여 탄소중립 달성뿐만 아니라 기후변화 적응에도 긍정적인 영향을 미칠 것이다(표 2).

V. 도시미기상 데이터의 확보

국립기상과학원에 따르면, 지난 109년간 여름의 길이는 20일이나 길어졌다고 한다. 온난화와 동시에 길어진 여름에는 폭염의 피해가 더 심각해 질 수 있다. 환경부

“ 기상청 참여 실험에서
자연기반해법은
폭염에 효과가 있는
것으로 나타남 ”

와 한국환경연구원, 김해시는 폭염에 대응하기 위한 벽면녹화 등 다양한 자연기반 해법 장치를 설치하였고, 부산지방기상청의 협조로 대응시설 효과에 대한 모니터링을 실시하였다(그림 6). 자연기반해법의 효과에 대한 연구를 살펴보면 탄소흡수 기능 외 효과에 대한 연구는 아직 미흡한 편이나, 한국환경연구원과 부산지방기상청의 협조로 김해시의 자연기반해법은 폭염에 효과가 있는 것으로 나타났다.

[그림 6] 환경부, 한국환경연구원, 부산지방기상청의 김해시 NbS 모니터링 (KTI 폭염 저감기술 연구단 제공)



하지만 도시 내 자연기반해법의 효과를 측정하기 위해서는 현재 기상청에서 제공하고 있는 자동기상관측장비(Automatic Weather Station, AWS) 자료보다 더욱 정밀한 데이터의 측정이 필요하다. 실제 서울시는 데이터 기반의 과학적인 행정수립 기반 마련을 위해 서울시 전역에 도시데이터 센서(Smart Seoul Data of Things, S-DoT)를 설치하고 있다. 2018년 850개의 센서 설치를 시작으로 2022년 까지 전체 2,500개의 센서를 설치하는 것을 목표로 하고 있으며, 측정항목은 미세

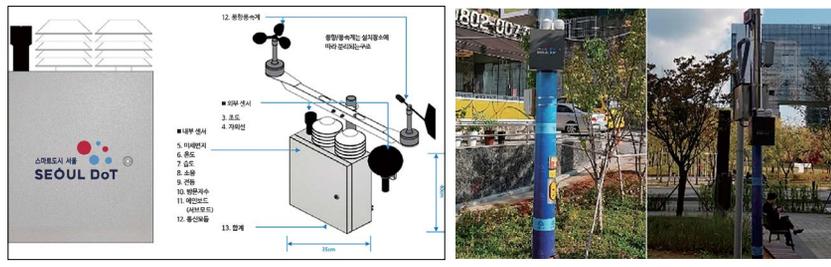
“ 생태계는 탄소중립과 기후변화 적응의 시너지를 극대화할 수 있는 방안으로 활용될 수 있으나, 효과성 연구는 미비한 상황 ”

먼지, 온도, 습도, 조도, 소음, 진동, 자외선, 풍향, 풍속, 방문자 등 10개 항목에 대해 측정하고 있다. 센서 설치 역시 424개 행정동에 균등설치를 우선하고 있으며, 그 외 정책수요가 있는 지역에 센서를 설치하고, 데이터를 공개함으로써 많은 연구자들이 서울시의 고해상도 자료를 적극 활용하고 있다.

지금까지 많은 연구자들이 기상청에서 운영중인 AWS 자료를 많이 활용하였으나, 최근에는 시·공간적으로 고해상도인 자료에 대한 수요가 점차 증가하고 있다. 기

상청에서도 더욱 촘촘한 도시 미기상 데이터의 구축이 필요할 것이며, 이러한 데이터의 구축 및 확보는 자연기반해법의 다양한 효과 측정에도 도움이 될 수 있을 것이다.

[그림 4] 서울시 도시데이터 센서(S-DoT) 외관 및 설치 사진(스마트서울 포털(<https://smart.seoul.go.kr/>))



VI. 결론

2020년 12월 「2050 탄소중립 목표」를 선언하고 어느덧 1년이란 시간이 지났다. 우리 사회 곳곳에서 기후변화와 탄소중립에 대한 목소리가 그 어느 때보다 컸던 지난 1년이였다. 기후변화는 이미 우리곁에 다가온 위기이다. 온실가스 감축만으로는 더이상 지구의 복합적인 문제를 해결하기 어려울지도 모른다.

이러한 상황에서 자연기반해법의 주요 요소인 생태계는 탄소중립과 기후변화 적응의 시너지를 극대화할 수 있는 방안으로 활용되고 있으며, 전세계에서 탄소중립 목표 달성 방안으로 주목받고 있으나, 아직 그 효과에 대한 연구가 많이 필요한 상황이다. 기상청이 지금까지의 기상데이터 관측 노하우를 활용하여 더욱 촘촘한 도시 미기상 데이터를 구축한다면, 이는 자연기반해법의 다양한 효과 분석에 많이 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- Ecologic Institute, 2014: Nature-based approaches for climate change mitigation and adaptation.
- IPCC, 2021: Sixth Assessment Report WG I, Cambridge Univ. Press, New York.
- IUCN, 2020a: Guidance for using the IUCN Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of Nature-based Solutions. First edition. Gland, Switzerland: IUCN.
- IUCN, 2020b: IUCN Global Standard for Nature-based Solutions
- N. Seddon, A. Chausson, P. Berry, C. Girardin, A. Smith, and B. Turner, 2020: Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375.1794.
- S. Diaz et al., 2018: Assessing nature's contributions to people, *Science*, 359.6373, 270-272.
- S. Grafakos et al., 2020: Integration of mitigation and adaptation in urban climate change action plans in Europe: A systematic assessment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, 109623.
- 서울 열린데이터 광장 (<https://data.seoul.go.kr/>)
- 스마트서울 포털(<https://smart.seoul.go.kr/index.do>)

탄소중립대응을 위한 탄소흡수원 관리

이우균 고려대학교 환경생태공학과 교수 leewk@korea.ackr

- I. 탄소흡수원의 필요성 및 역할
- II. 탄소흡수원 관리 현황
- III. COP26 탄소흡수원부문 성과와 관리방향
- IV. 맺음말

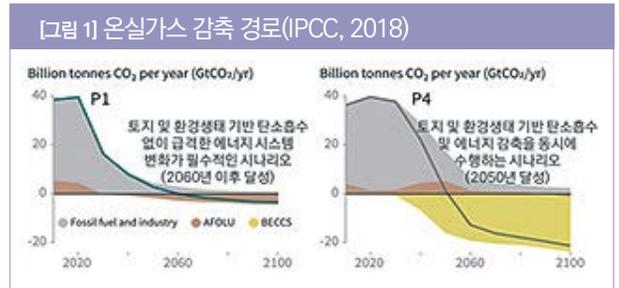
최근 국제적 이슈로 부상한 탄소중립은 온실가스 배출을 줄이는 것뿐만 아니라, 흡수원에서의 흡수량을 늘리는 것이 중요하다는 것을 분명히 하고 있다. 우리나라의 2050탄소중립시나리오와 COP26의 기후 변화 합의에서도 산림손실 및 토지황폐화 방지, 탄소흡수원 보전·복원 및 신규조림 등 탄소흡수원 확충, 산림의 지속성 확보 등이 강조되고 있다. 탄소흡수원 관리를 위한 높은 수준의 온실가스 산정(Tier) 및 토지 이용 변화 추적(Approach)을 위해서는 온실가스통계체계 등의 정책 및 제도 마련과 함께 국토-환경-해양-농림-기상위성 활용 등의 기술적 뒷받침도 수반되어야 한다. 이와 같이 선진적이고 차별화된 제도와 기술을 바탕으로 아직도 취약한 지역에서의 탄소흡수원 관리를 위한 국제협력도 필요하고, 이를 농림업 및 디지털 산업 기반의 민간영역과 함께 수행하는 것이 탄소중립을 달성할 수 있는 길이다. ■

“ 탄소중립을 위해 취약 지역에서의 탄소 흡수원 관리 위한 국제협력 등이 요구 ”

1. 탄소흡수원의 필요성 및 역할

1. 탄소흡수원관리의 필요성

탄소중립달성을 위해서는 배출원(source)으로부터 배출량을 줄이는 것 뿐만 아니라, 흡수원(sink)에서의 흡수량을 증진시키는 것이 중요하다. 「기후변화와 토지 특별보고서」에서는 토지이용으로 인한 온실가스 배출량은 총 배출량의 23%에 달하는 것으로 보고하고 있다(IPCC, 2019). 또한, 세계자연보전연맹(International Union for Conservation of Nature, IUCN)은 세계 이산화탄소 배출량의 약 25%가 토지부문에서 발생하는 것으로 보고하고 있다(IUCN, 2017). 이에 따라 「지구온난화 1.5°C 특별보고서」에서는 토지의 부문에서의 온실가스 감축만으로는 지구기온 상승폭을 1.5°C 이하로 제한하는 것은 한계가 있다고 지적하고 있다. 산림을 비롯한 '토지 및 환경생태기반 탄소흡수 및 에너지 감축'을 동시에 수행하여야만 2050년 탄소중립이 가능하다고 보고하고 있다(IPCC, 2018)그림 11.



이에 따라 국제사회에서는 산림지(Forest Land), 농경지(Cropland), 초지(Grassland), 습지(Wetlands), 정주지(Settlements), 기타 토지(Other Land) 등을 온실가스 흡수원으로 보고, 이들을 '토지이용, 토지이용변화 및 임업(Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF)' 범주로 묶어 온실가스 산정체계에 포함하고 있다. LULUCF 부문에서는 토지이용과 목적, 형태에 따라 구분된 6개의 토지이용 범주별 인위적인 활동과 토지이용변화에 따른 온실가스 배출·흡수량을 산출하고 있다. 이렇게 산출된 온실가스 배출·흡수량은 국가온실가스 인벤토리로 취합되며, 「2020 국가온실가스 인벤토리보고서」에서도 에너지, 산업공정, 농업, 폐기물 외에 '토지이용, 토지이용변화 및 임업'을 별도의 보고 분야로 하고 있다(환경부, 2020).

“ LULUCF의 탄소 흡수원들은 온실 가스 감축에 기여 ”

2. 탄소흡수원의 역할

LULUCF의 탄소흡수원들은 기본적으로 대기 중의 이산화탄소(CO₂)를 흡수하여 광합성을 통해 나무와 토양에 탄소(C)를 저장함으로써 온실가스 감축에 기여하는 역할을 하고 있다. IUCN에 따르면 지구의 산림면적은 전체 육지 면적의 약 1/3 정도이며, 매년 약 26억 톤의 CO₂를 흡수하여 기후변화대응에 기여하고 있다. 우리나라에서는 2018년 기준 산림지와 초지 부문에서 4,560만 톤을 흡수하고, 농경지와 습지 부문에서는 430만 톤을 배출하여, LULUCF 4개 부문의 순흡수량은 4,130만 톤으로 보고되고 있다(환경부, 2020)(표 1).

〈표 1〉 2018년 LULUCF분야 온실가스 배출 및 흡수량

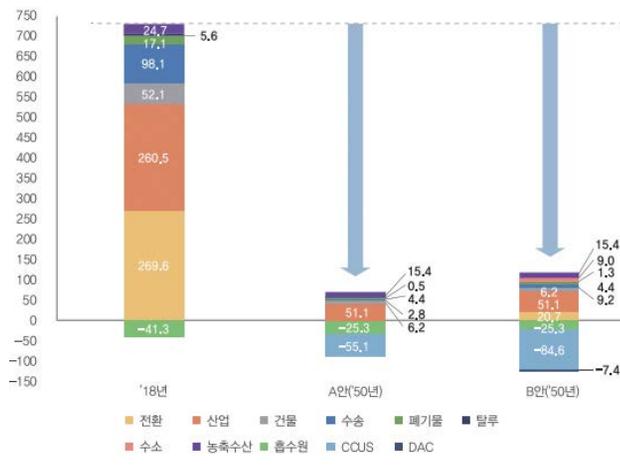
(단위: 백만 톤CO₂e)

분야	부문				배출·흡수총량		순흡수량
	산림지	농경지*	초지	습지*	배출	흡수	
LULUCF	- 45.6	4.0	- 0.02	0.3	4.3	- 45.6	- 41.3

*음수는 흡수, 양수는 배출. 농경지와 초지에서는 배출하는 것으로 나타남

3. 2050탄소중립전략에서의 탄소흡수원의 역할

〔그림 2〕 2018년 대비 2050년 온실가스배출량



탄소중립위원회에서 발표한 2050탄소중립시나리오에는 ‘흡수원’부분이 포함되어, 2050년 25.3백만 톤을 흡수하는 것으로 계획되어 있다 [그림 2]. 2018년 기준 45.6백만 톤 흡수량이 산림의 고령화 등으로 감소되는 것을 감안한 목표치이다. 흡수부문을 구체적으로 살펴보면, 강화된 산림대책, 장수명 목재 이용 확대, 재해피해(배출) 감축 등에서 23.6백만 톤 흡수가 가능하고, 댐, 해양, 습지 등 기타 분야에서 1.6백만 톤의 추가흡수가 가능할 것으로 전망되고 있다

(2050탄소중립위원회, 2021).

“ 탄소중립위원회는 2050년 25.3백만 톤 탄소흡수를 계획 ”

2050년 탄소중립 흡수원의 목표를 달성하기 위해, 탄소흡수원 보전·복원 및 신규조림 등 탄소흡수원 확충, 산림의 지속성 확보, 장수명목재 이용 확대 등 국산목재 수요·공급의 선순환체계구축, 해양생태를 활용한 탄소흡수원 확충, 초지 및 도시지역 등 흡수원 추가발굴 등의 정책을 제언하고 있다.

II. 탄소흡수원 관리 현황

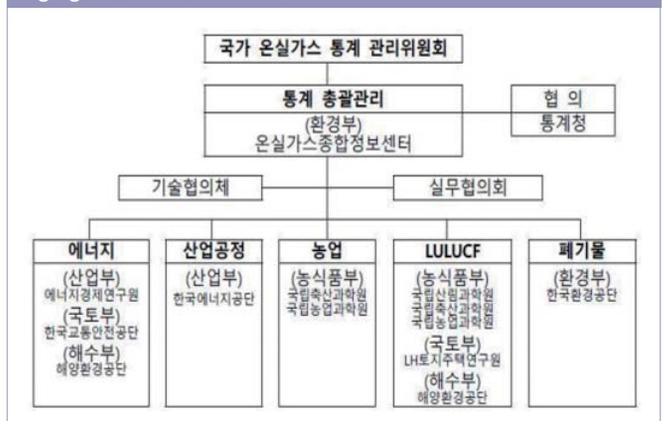
1. 탄소흡수원 관리조직 현황

우리나라에서는 환경부 산하 온실가스종합정보센터(Greenhouse gas Inventory Research center, GIR)를 중심으로 국가 인벤토리 통계를 산정하며, 매년 보고서를 발간하고 있다. 온실가스종합정보센터는 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(약칭: 탄소중립기본법)에 따라 국가 온실가스 배출 및 흡수량, 국가고유 배출계수, 온실가스 관련 정보를 개발·검증하는 체계를 운영하고 있다. LULUCF 분야는 환경부가 총괄기관의 역할을 하고 있으며, 각 부문별로 농림축산식품부와 국토교통부 산하 연구소를 산정기관으로 지정하고 있다. 산림과 습지는 국립산림과학원, 농경지는 국립농업과학원, 초지는 국립축산과학원, 정주지는 국토교통부의 LH토지주택연구원 등이 산정기관이다[그림 3].

2. 탄소흡수원의 온실가스 및 면적산정 현황

「2006 IPCC 지침서」에서는 온실가스 통계 산정시 산정수준(Tier 1~3)과 범주별 토지이용 변화 접근법(Approach 1~3)을 다음과 같은 기준으로 적용하여야 함을 명시하고 있다. 온실가

[그림 3] 우리나라 온실가스 산정, 보고, 검증 조직도(<http://www.gir.go.kr/home/main.do>)



스 산정수준(Tier)은 국가고유계수가 없는 1단계부터 국가 고유계수가 있는 2단계, 그리고 국가내 공간별, 시간별 변화를 반영할 수 있는 3단계까지로 구분되고 있다. 토지이용변화 파악수준(Approach)은 토지이용 분류체계에 따른 국가단위의 총 면적만을 제시하는 1단계, 토지이용 간 전용되는 면적 변화 흐름이 파악되는 2단계, 토지이용간 변화가 시공간적으로 파악되는 3단계로 구분되고 있다(IPCC, 2006).

우리나라의 온실가스 산정(Tier)수준은 산림 지상부바이오매스만 Tier 2이고 산림토양, 농경지, 초지, 습지는 Tier 1수준으로 되어 있으며, 정주지는 비산정(Non Estimated, NE)한다. 또한, 우리나라의 LULUCF 부문별 면적은 국가통계자료를 이용하여 총면적만을 산출하고 있어 토지이용변화(Approach)수준은 Approach 1수준인 것으로 파악되고 있다(국토교통부, 2020).

〈표 2〉 우리나라 LULUCF 부문들의 온실가스 산정수준

주요 항목	산림지	농경지	초지	습지
GL	2006 IPCC GL	2003 GPG-LULUCF	2003 GPG-LULUCF	2006 IPCC GL
산정항목	바이오매스, 토양	토양	토양	토양
방법론	Tier 2(바이오매스) Tier 1(토양)	Tier 1	Tier 1	Tier 1

III. COP26 탄소흡수원부문 성과와 관리방향

1. COP26의 탄소흡수원(산림)부문 성과

2021년 10월 31일부터 11월 13일까지 영국 글래스고(Glasgow)에서 열린 COP26에서는 '산림에 관한 정상선언', '파리협약 세부이행규칙(Paris Rulebook) 완성 및 협력적 접근법 채택(6.2조)', '산림재원서약' 등 산림부문의 굵직한 성과가 있었다.

'산림에 관한 정상선언'에서는 '지속 가능한 개발을 이행하고 포용적인 농촌 전환을 촉진하면서 2030년까지 산림 손실 및 토지 황폐화를 멈추고 회복시키기 위해 협력할 것을 약속했다. '6.2조 협력적 접근법' 및 '6.4조 탄소시장 세부이행규

“ LEAF 구축으로 산림
재원에 민간기업의
참여를 유도하는
계기가 마련됨 ”

칙에 산림흡수원 활동이 포함됨으로써, REDD+(Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation) 감축실적 등이 국가 간 이전된 감축실적(Internationally Transferred Mitigation Outcomes, ITMOs)을 활용하여 NDC(Nationally Determined Contribution) 달성에 기여할 수 있는 길이 열렸다. 2030년까지 산림전용 및 황폐화 방지를 위한 산림재원을 정부와 민간이 공동으로 조성한다는 LEAF(Lowering Emissions by Accelerating Forest finance)라는 '산림재정메커니즘'을 구축함으로써 산림재원에 민간기업의 참여를 유도하는 계기도 마련되었다(환경부, 2021, 산림청, 2021a).

2. COP26의 탄소흡수원(산림) 부문 성과와 산림탄소흡수원 관리

가. 임업기반의 산림탄소흡수원 관리

COP26의 성과를 성공적으로 이행하기 위해서는 우선 산림은 토지(산지)기반 산업(임업)의 대상임을 염두에 둔 대응전략이 필요하다. COP26의 '산림에 관한 정상선언'에서는 '지속가능한 생산 및 소비', '산림에 의존하여 생계를 유지하는 지역주민' 등을 통해 산업으로서의 임업을 강조하고 있다. 또한, '1.5°C 목표실현 의지 및 메시지'에서도 '녹색일자리 및 성장 창출을 위한 10개년 협력계획', 'FACT Dialogue(Forests, Agriculture & Commodity Trade Dialogue)에 참여하여 농업생산물 생산, 소비, 교역'으로 인해 야기되는 개도국 산림훼손 방지, '친환경적 생산 및 소비 방안'의 등도 산업으로서의 임업을 강조하고 있다. 산림-농업과 상품 무역대화(FACT Dialogue)는 영국정부가 주도하는 협의체로 플랜테이션 작물의 생산, 소비, 교역으로 인해 야기되는 개도국 산림훼손 방지, 무역촉진 등을 의미한다(산림청, 2021b).

'파리협정 제6.2조 협력적 접근법'에서 '국제적으로 이전된 감축결과물(Internationally Transferred Mitigation Outcomes, ITMOs)을 NDC 달성 목적에 활용 가능'도 임업기반의 활동자료(activity data)와 연계되어 있다. ITMOs의 기업할당목표, 기업탄소중립, 규제시장, 자발적 탄소시장을 통한

“ COP26 성과 위해
산림부문도 산업
관점의 임업 기반
대응전략이
필요 ”

NDC 및 국가 탄소중립 달성 체계에서 시장기반의 임업이 NDC 및 탄소중립의 기반임을 나타내는 것이다. ‘REDD+정책방향’의 ‘민관협력을 기반으로 한 REDD+ 활성화’에서 ‘민’은 임업을 담당하는 주체로 볼 수 있다. ‘투명한 보고체계’에서 ‘온실가스 배출 및 흡수에 관한 국가인벤토리 보고서’는 시·군단위의 현장 산림사업 자료가 MRV(Measuring, Reporting, Verifying) 체계로 이어지는 ‘임업의 활동자료’를 기반으로 해야 한다(기후변화정책연구소, 2021).

COP26에서의 다양한 결정 및 협력내용은 ‘기존 화석연료기반 산업체계로는 인류의 지속가능한 발전은 불가능하다’라는 위기에서 나온 것으로 이해해야 한다. 따라서 COP26 성과가 이행되기 위해서는 ‘산업체계의 대전환’이 전제되어야 하고, 이러한 측면에서 산림부문에서도 ‘산업으로서의 임업’에 기반한 대응전략이 필요하다. ‘임업(Forestry)’을 산림생산물을 포함한 생태계 서비스의 건전한 생산과 소비를 아우르는 차원에서 인식하고, 종자-양묘-숲가꾸기-목재제품(Harvest Wood Product, HWP) 생산 및 소비를 잇는 전과정의 순환경제측면에서 정립해야 할 것이다.

나. 대한민국 참조형(Korea Reference)의 산림탄소흡수원관리 국제협력

또한 COP26의 성과는 대한민국의 경험과 강점이 융합된 차별화된 국제 및 남북 협력으로 이행되어야 한다. ‘파리협정 제6.2조 협력적 접근법’에서 ‘국제적으로 이전된 감축결과물(ITMOs)’는 ‘이전되는(Transferred)’ 차원에서 국가간 ‘차별화된 기술(Technology)’을 전제로 하고 있다. ‘1.5℃ 목표실현 의지 및 메시지’에서 ‘2030년까지 산림전용 및 토지황폐화 중단 서약(141개국)’에서 ‘산림전용 및 토지황폐화’는 우리나라의 문제보다는 북한을 포함한 협력국가의 문제이다. 또한, ‘국제협력 부문’에서 ‘산림부문 국제검토 전문가 양성으로 사업이행능력 향상’은 우리나라의 산림복구 성공 경험 및 산림관리기술을 협력국가에 이전할 수 있는 인재양성을 통해 이루어질 수 있다. ‘남북한 산림협력을 통해 한반도 전체의 온실가스를 감축해 나갈 것을 제안한 것을 이행하기 위해서는 우리나라에서의 산림탄소흡수원관리 기

“ 온실가스 흡수원의
정확한 면적파악 및
흡수량 산정 필요 ”

술(Tier, Approach)을 협력국가에 적용할 수 있는 능력을 갖춘 전문가가 필요하다.

우리나라가 그간 보인 산림복구 성공과 현재의 산림관리 수준이 단순한 국가차원의 수준이 아닌, 임업차원의 수준으로 설명되어야 한다. 국가 및 임업차원으로 차별화된 기술이전으로 협력국가에서 산업으로서의 임업활성화가 이루어지도록 국제 및 남북협력이 이루어져야 한다. ‘기술은 남북협력, 재원은 국제협력’ 전략 하에 대한민국 전문가가 국제 및 남북협력을 주도해 나가는 시스템을 갖추어야 할 것이다.

다. 탄소흡수원 온실가스 및 면적산정 수준 향상

선도적이고 차별화된 정책 및 기술로 탄소중립을 달성하기 위해서는 온실가스 흡수원의 정확한 면적파악 및 흡수량 산정이 필요하다. 현재 전국단위로 시행되는 면적 및 온실가스 산정 수준을 토지이용 및 흡수량 변화를 시·공간적으로 파악할 수 있는 Approach 3 및 Tier 3 수준으로 향상시켜야 한다.

또한, Tier 3, Approach 3를 위해서는 우선적으로 온실가스 흡수원간 경계 및 면적이 정확해야 한다. LULUCF는 부문 간의 유기적 연계성이 크기 때문에, 방법론, 데이터 수집 및 활용 등에서 발생하는 불일치를 최소화하고 정합성을 확보할 필요가 있다. 우리나라의 경우 주요 선진국들처럼 하나의 기관에서 LULUCF 부문을 통합적으로 산정·관리하는 체계가 아니기 때문에, LULUCF의 부문별 경계를 명확히 설정하거나 향후의 통합관리시스템 구축을 고려하는 차원에서도 LULUCF 부문별로 비교적 동일하게 적용될 수 있는 활동자료를 적용하여 정의 및 범위를 도출할 필요가 있다.

그리고 LULUCF 탄소흡수원은 생물다양성 등의 생태계서비스와 토지자산이라는 경제 및 산업적 기능을 동시에 지니고 있으므로 이들과 시너지효과가 나도록 탄소흡수원 관리가 이루어져야 한다.

“ 토지기반의 흡수
없이 2050 탄소
중립달성이
어렵다 ”

IV. 맺음말

최근 국제적 이슈로 부상한 탄소중립은 온실가스 배출량을 줄이는 것뿐만 아니라, 흡수원으로부터의 흡수량을 늘리는 것이 중요하다는 것을 분명히 하고 있다. 산림, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 녹지 등 토지기반의 흡수 없이는 2050탄소중립 달성이 어렵다는 이유에서다. 토지기반의 흡수원은 나무 등 식생 및 토양을 통해 온실가스를 흡수하고 저장하는 것은 분명하지만, 산림황폐화, 산불, 산사태, 재난 등의 잘못된 토지관리는 오히려 배출로 이어지게 된다.

따라서 우리나라의 2050탄소중립시나리오와 COP26에서도 산림손실 및 토지 황폐화 방지, 탄소흡수원 보전·복원 및 신규조림 등 탄소흡수원 확충, 산림의 지속성 확보 등이 강조되고 있다. 이를 위해서는 흡수원의 온실가스 및 면적 산정의 투명성(Transparency), 정확성(Accuracy), 비교가능성(Compatibility), 완결성(Completeness), 일관성(Consistency) 등이 확보되어야 한다. 따라서 IPCC에서 권고하는 온실가스 산정수준(Tier) 및 면적변화 파악수준(Approach)을 최고 단계로 향상시켜야 한다.

탄소흡수원 관리를 위한 높은 수준의 Tier 및 Approach를 위해서는 온실가스 통계체계 등의 정책 및 제도 마련과 함께 기술적 뒷받침도 수반되어야 한다. 우선, 탄소흡수원 관리를 위한 총괄-관장-산정기관간 원활한 협력체계를 위한 제도적 장치가 마련되어야 한다. 또한, 산림지, 농지, 초지, 습지, 정주지간 면적변화를 시공간적으로 촘촘히 파악하기 위해서는 국토, 환경, 해양, 농림 등의 다양한 위성을 활용한 측정(Measuring)-보고(Reporting)-검증(Verifying) 등의 MRV 기술이 개발되어야 한다. 또한, 흡수원의 흡수량 변화 모니터링도 필수적으로 이루어져야 하는데, 이에선 정확한 기상정보 및 식생반응 정보가 필수적이다. 기상위성, 기후예측시스템 등을 통해 정확히 예측되는 기상정보를 통해 흡수원의 상태를 진단할 수 있으며, 식생반응모델과 연계를 통해 흡수량 변화를 시공간적으로 파악하는 Tier 3 산정 체계가 가능하다.

선진적이고 차별화된 제도와 기술을 바탕으로 아직 취약한 지역에서의 탄소흡

“ 흡수원의 흡수량
변화 모니터링에는
기상정보 및 식생
반응 정보가 필수적 ”

수원 관리를 위한 국제협력이 바람직하고, 이를 농림업 및 디지털 산업을 기반으로 하는 민간과 함께 수행하는 것이 탄소중립을 달성할 수 있는 길이다.

참고문헌

- IPCC, 2018: Global Warming of 1.5 °C.
- IPCC, 2019: Climate Change and Land.
- IPCC, 2006: 2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories.
- IUCN, 2017: Forests and Climate Change. in Issues Brief November 2017.
- 2050탄소중립위원회, 2021: 2050탄소중립시나리오.
- 국토교통부, 고려대학교 산학협력단, 2020: 기후변화대응을 위한 정주지 관리정책방향연구.
- 기후변화정책연구소 2021: 기후위기 대응과 지속가능한 사회를 위한 산림부문제도개선방안.
- 산림청, 2021a: 「'글로벌 산림자원 서약 등 COP26 산림관련 정상세션 결과 브리핑」(2021.11.2.).
- 산림청, 2021b: 「글래스고 기후변화협약 당사국총회(COP26)의 성과와 산림분야 대응전략」.
- 환경부, 2020: 2020 국가온실가스 인벤토리보고서.
- 환경부, 2021: 「제26차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP26) 폐막」(2021.11.13)

기후위기 극복을 위한 탄소중립과 기후변화 적응

박진한 한국환경연구원 국가기후변화적응센터 부연구위원, jinhan@kei.re.kr

- I. 서론
- II. 탄소중립시대에 적응이 필요한 이유
- III. 기후변화 적응대책에서의 탄소중립
- IV. 기상청의 기후변화 적응대책
- V. 결론

지구온난화 1.5°C 이내 상승 억제를 위해 범세계적 기후행동을 취하고 있다. 이에 우리나라도 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」을 제정하는 등 기후변화 선진국으로써의 지위를 공고히 하고 있다. 하지만 2050 탄소중립에 도달하더라도 지금까지 배출된 온실가스로 인하여 지구온난화의 영향은 피할 수 없는 상황이다. 이는 2050 탄소중립을 달성하더라도 우리는 기후변화 적응이 필요하다는 것을 의미한다. 다행히 우리나라는 5년마다 국가 기후변화 적응대책을 수립하여 이행하고 있으며, 기후변화시나리오 생산, 전지구적 감시 등 기상청도 탄소중립뿐만 아니라 기후변화 적응에 많은 기여를 하고 있다. 기후변화 적응은 기후위기 대응에 있어 선택이 아닌 필수적인 수단인 것이다. ■



1. 서론

기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에서 발간된 제6차 평가보고서(Assessment Report WG1)에 따르면 2011-2020년 기간의 전지구 지표 평균온도가 1850-1900년 기간 대비 약 1.1°C 상승한 것으로 나타났으며, 이는 명백한 인간 활동 때문으로 나타났다(IPCC, 2021). 또한 향후 20년 안에 1.5°C 지구온난화를 넘어설 가능성이 매우 큰 것으로 나타났고, 2050 탄소중립을 달성해야 2100년 지구온난화 1.5°C 이하로 억제할 수 있다고 한다. 이에 11월 영국 글래스고에서 열린 제26차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP26)에서는 글래스고 기후합의(Glasgow Climate Pact)를 선언하며 1.5°C 이내 상승 억제를 위한 범세계적 기후행동 강화를 약속하였다. 우리나라도 2050 탄소중립을 위하여 2030년 국가온실가스감축목표(Nationally Determined Contributions, NDC)를 2018년 대비 40%로 대폭 향상시켰다.

이러한 기후변화에 대응하는 방법은 세 가지가 있다. 회피와 완화, 그리고 적응이 그것이다. 회피는 기후변화의 영향에서 벗어나는 것을 의미한다. 해수면 상승으로 인하여 연안의 침식이 예상된다면 침식 예상 지역의 마을을 내륙으로 이주시키는 방법이 대표적 회피방법이다. 두 번째인 완화는 기후변화를 유발하는 원인물질인 온실가스 배출량을 줄이는 방법이다. 마지막 방법은 적응이다. 적응은 기후변화의 영향을 극복하는 방법으로서 기후변화로 인하여 발생하는 부정적인 영향을 저감하고 긍정적인 영향을 최대화하는 접근법이다. 전지구 단위에서 발생하는 기후변화에 대응하기 위해서 회피를 선택하기는 쉽지 않다. 또한 산업화 이전부터 현재까지 인간 활동에 기인한 탄소배출이 유발한 온난화는 짧게는 수백 년에서 길게는 수천 년간 지속될 것이기 때문에 온실가스 완화는 장기적이고 국제적인 접근이 필요하다. 하지만 적응은 기후변화의 결과에 대한 대응에 초점을 두고 있으므로 장단기적 대응이 가능하며, 지역 단위부터 국가 단위의 대응까지 다양한 공간규모에서의 접근이 가능하다.

우리나라의 경우 기후변화에 대응하기 위한 법적인 수단을 마련하였다. 지난 8월 31일 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(이하 탄소중립기본법)」이 국회를 통과하였다. 이는 세계에서 14번째로 2050 탄소중립 이행을 법제화한 것으로, 기후위기 대응과 2050 탄소중립 달성을 위한 법적 기반을 마련한 것으로 볼 수 있다(환경부 보도자료, 2021). 탄소중립기본법

은 기존 「저탄소 녹색성장 기본법」을 대체하는 법으로서, 2050 탄소중립과 함께 환경과 경제의 조화로운 발전을 도모하는 것을 비전으로 제시하고 있다. 탄소중립기본법에는 탄소중립을 위한 온실가스 감축뿐만 아니라 기후위기 적응, 정의로운 전환, 녹색성장 등에 대한 시책을 동시에 담고 있다.

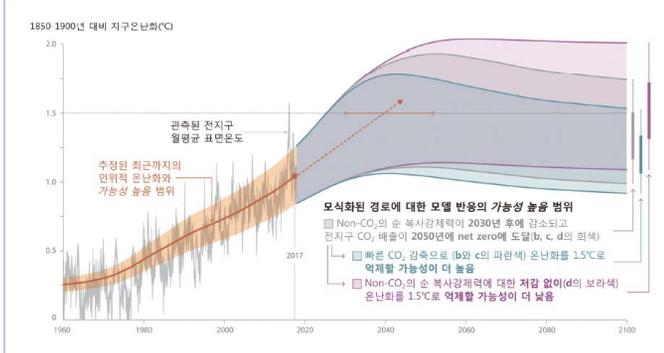
결국, 기후위기 시대에 기후변화에 대응하기 위하여 탄소중립 달성을 법제화하는 동시에 적응에 기후변화 적응도 빠뜨릴 수 없는 것이다.

II. 탄소중립시대에 적응이 필요한 이유

산업혁명 이전 이산화탄소 농도는 280ppm 정도였고, 이는 과거 80만 년 동안 비교적 일정하게 유지되고 있던 농도이다. 그러나 산업혁명 이후 이산화탄소 농도는 현재 410ppm에 이르고 있으며, 이는 과거 200만 년 동안 가장 높은 이산화탄소 농도이다. 그에 따라 지구의 온도는 산업화 이전 대비 1.09°C, 평균 해수면은 1901-2018년 사이 0.20m 상승하였다. 해수면 평균 상승 속도는 1901-1971년 사이 1.3mm/년에서 2006-2018년 사이 3.7mm/년으로 약 2.85배 빨라진 속도를 보여주고 있다(IPCC, 2021).

「지구온난화 1.5°C 특별보고서」에 따르면 파리협정에 따라 국가별 감축 목표가 확대되더라도 지구온난화는 1.5°C 이상이 될 것으로 예측하고 있으며, 2100년 1.5°C 이내 상승으로 억제하기 위해서는 2050년 탄소중립에 도달해야 한다고 말하고 있다(IPCC, 2018). 그러한 이유로 국내·외적으로 2050 탄소중립을 외치고 있다.

[그림 1] 관측된 전지구 기온 변화와 모식화된 인간 활동에 의한 배출 및 강제력 경로에 따른 모델 반응(IPCC, 2018)



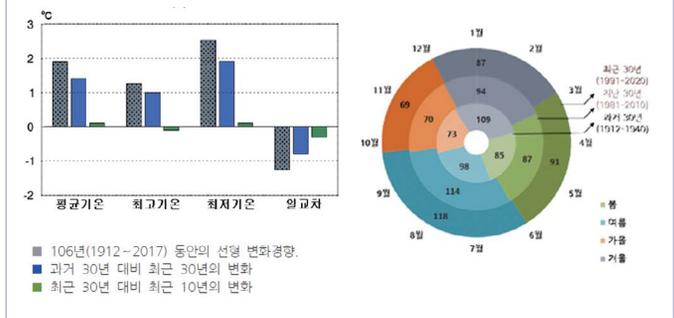
하지만 지금 당장 온실가스 농도를 감축하더라도 이미 배출된 온실가스로 인하여 지구온난화의 영향은 피할 수 없는 상황이다(그림 1) (IPCC, 2007). 2050 탄소중립은 2100년 1.5°C 상승을 억제하기 위해 필요한 것이며, 2050 탄소중립을 실현하더라도 지금까지 배출된 온실가스로 인해서 1.5°C를 일시적으로 넘어서는 시기가 발생할 수밖에 없는 상황이다. 2018년



발간된 지구온난화 1.5°C 특별보고서에서는 1.5°C 상승 도달 시점을 2030~2052년으로 예상하였지만, 지난 8월 보고된 IPCC 제6차 평가보고서(AR6) 제1실무그룹(WG1) 보고서에 따르면, 이번 세기 중반까지 현 수준의 온실가스 배출량을 유지한다면 1.5°C 상승에 도달하는 예상 시점은 2021~2040년으로 그 시기가 점점 빨라지고 있다(IPCC, 2021).

지구온난화가 1.5°C를 넘어선다면 전지구 평균 해수면 상승, 육지 생물종의 감소 및 멸종 등 생물다양성과 생태계의 영향, 건강, 생계, 식량안보, 물공급 등 인간에게도 다양하고 큰 영향을 미칠 것으로 예상하고 있다(기상청, 2020). 우리나라의 경우 전지구 평균 보다 더 빠른 온난화 속도를 보이고 있다. 지난 106년간 우리나라의 연평균기온은 약 1.8°C 상승하였으며, 이는 전지구 평균 온난화보다 뚜렷하게 빠른 속도이며, 여름이 19일 길어진 반면, 겨울은 18일 짧아지는 등 변화를 더 크게 체감할 수 있게 되었다(그림 2).

〔그림 2〕 우리나라 기온변화(좌)(국립기상과학원, 2018) 및 계절길이 변화(우)(국립기상과학원, 2021)



따라서 전 세계적으로 2050 탄소중립을 이행하더라도 우리는 1.5°C 지구온난화에 대비해야 할 필요성이 있다. 기후변화에 의한 사회 전 부문의 피해를 줄이고, 기회로 활용하기 위한 모든 활동을 기후변화 '적응(adaptation)'이라 정의한다. 즉, 2050 탄소중립을 이행하더라도 우리는 기후변화 적응이 필요한 시대에 살고 있는 것이다.

III. 기후변화 적응대책에서의 탄소중립

기후변화의 영향으로 자연재해가 빈번하게 발생하고, 인명 및 재산피해가 증가하는 등 기후변화에 따른 영향이 점점 증가하고 있는 추세이다. 이러한 기후변화 영향에 대응하기 위해 최근 에코리질리언스(eco-resilience) 등 생태계기반 회복 탄력성에 관한 내용이 논의되고 있으며, 기후변화 적응을 위한 회복 탄력성을 높이기 위해서는 최근에는 자연기반해법(Nature Based Solution, EbS), 생태계기반 적응(Ecosystem-based Adaptation, EbA) 등이 필요하다는 논의가 활발하게 일어나고 있다. 생태계는 서로 상호작용하는 다양한 유기체와 영향을 주고받는 주

변의 환경을 함께 일컫는 것으로, 하나의 생태계 속 유기체들은 먹이사슬 등을 통해 서로 밀접하게 연관되어 있으며, 이를 통해서 에너지가 순환·이동하면서 생태계가 유지되고 있다. 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity)은 생태계적 접근을 ‘토지, 물 그리고 생명 자원을 통합적으로 관리하는 전략으로서 환경 보전과 지속가능 개발을 동시에 실현할 수 있는 전략’으로 정의하고 있다.

〔그림 3〕 생태계기반 적응(EbA)이 필요한 이유(<https://www.iucn.org/>)



세계자연보전연맹(International Union for Conservation of Nature, IUCN)은 기후변화에 적응할 수 있는 전략 중 하나로 생물다양성 및 생태계서비스 활용을 제시하고 있다. 특히 생태계는 인간들에게 미치는 영향과 인간이 생태계에 미치는 피드백을 고려할 때, 생태계기반 적응전략을 적용하는 것이 도시의 복원력을 높이고, 기후변화 취약성을 줄일 수 있다고 제시하고 있다〔그림 3〕.

많은 연구들을 살펴보면 공통적으로 생태계기반 적응에 대해서 다음과 같이 논의

하고 있다. 먼저 생태계는 기후변화에 적응할 수 있는 탄력성을 높여주고 있으며, 둘째, 생태계는 사람들에게 사회·문화·경제적으로 다양한 혜택을 제공하고 있다. 셋째, 비용 측면에서 저렴하긴 하지만, 장기간의 계획 및 관리가 필요하므로 장기적으로 접근할 필요성이 있다고 논의하고 있으며, 넷째, 사람들이 단순히 생태계를 이용하는 것이 아니라 보호·보전·복원 등의 관리를 통해 상호 긍정적인 피드백 작용을 유도하는 것을 생태계기반 적응이라 말하고 있다. 마지막으로 지역사회를 기반의 접근방식을 채택하고 있으며, 지역사회의 참여를 높일 수 있도록 지속적인 홍보, 교육, 인식 제고 등이 필요하다고 언급하고 있다. 생태계 종류별 적용가능한 생태계기반 적응 기술은 <표 1>과 같다.

한편, 생태계기반 적응은 생태계의 다양한 기능을 적극 활용하기 때문에 최근 논의되고 있는 탄소중립에도 큰 도움이 될 것이다. 우리나라는 기후변화에 따른 영향에 대응하기 위해 「저탄소



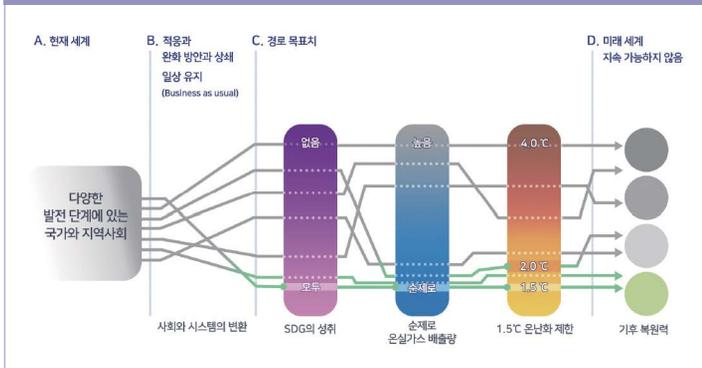
〈표 1〉 우리나라에 적용가능한 생태계 종류별 생태계기반 적응 예시(한국환경연구원, 2020)

생태계의 종류 및 분야	생태계기반 적응대책 예시
산림 및 초지 생태계	<ul style="list-style-type: none"> - 재조림 및 사면 녹화 등을 통한 산림 복원 - 고산 생태계 복원을 통한 탄소 포집 증가 - 지역사회 기반 탄소 포집기술 개발 - 산사태 등 산림재해 방지를 위한 수로 재설계 - 기후 탄력적인 방목 및 가축 관리 - 방목지의 재건 및 복원 - 농업 생태계 및 농업 시스템의 개선
담수 및 습지 생태계	<ul style="list-style-type: none"> - 강변의 재조림 및 복원 등 주변 환경 개선 - 유역 복원 - 습지 보호 및 복원 - 유역 수준의 통합 수자원 관리 계획
해양 및 해안 생태계	<ul style="list-style-type: none"> - 해안 사구 및 해변의 안정화 - 방파제 역할의 인공 암초 조성 - 방파제의 재배치를 통한 해안선의 후퇴 등을 유도 및 관리 - 갯벌 및 염습지 등과 같은 조간대 서식지가 개발될 공간 조성
도시 생태계	<ul style="list-style-type: none"> - 도시숲 조성, 삼천만 그루 나무 심기, 가로수 조성 등 도시 녹지 공간 조성 - 옥상 녹화 및 투수성 포장, 텃밭 조성, 생태연못 조성 등 도시 공간의 생태적 요소 도입 - 다층 구조의 혼합 식재 적용 - 지역-광역 녹지 네트워크 구축 - 홍수 위험 관리 구역 지정 - 유출 저감 시설, 빗물 수확 기술 개발
지역사회 및 관련 기관 등	<ul style="list-style-type: none"> - 공무원 및 기술 인력, 사용자 그룹, 여성 단체, 지역사회 기관 및 소셜네트워크 등 다양한 기관에 대한 교육 수행 - 생태계기반 적응 관련 내용 교육과정에 추가 - 환경 교육 캠페인 등을 통한 인식 제고 - 민간-공공-시민 파트너십 수립 - 지역의 경제를 고려하는 적응대책 마련을 통해 사회의 참여 유도 - 기후변화 영향 및 적응 전략에 대한 인식을 높일 수 있는 기후변화 취약성 평가 - 환경 보전 노력을 지원할 수 있는 규정 개발 - 지역사회와 지방정부가 우선시하는 기후 적응 전략의 실행

녹색성장 기본법」 제48조 제4항에 근거하여 매 5년마다 국가 기후변화 적응대책을 수립하고 있으며, 현재 「제3차 국가 기후변화 적응대책(2021-2025)」이 이행 중에 있는 상황이다. 제2차 및 제3차 국가 기후변화 적응대책에서 이러한 내용을 살펴볼 수 있다. 제2차 국가 기후변화 적응대책에서는 국내외 적응정책 이행기반 마련 부문에서 ‘지역 생태계기반 기후변화 적응 협업모델 발굴 및 시범사업’의 세부대책이 있으며(환경부, 2015), 제3차 국가 기후변화 기후변화 적응대책의 생태계 부문에서는 ‘한반도 생태네트워크 구축 및 관리’와 국토연안 부문에서 ‘자연기반 해결책(NbS)을 활용한 기후위기 대응 추진’ 등의 대책이 포함되어 있다. 자연기반해법, 생태계기반 적응 등의 대책은 기후변화에 대한 회복탄력성을 높일 수 있을뿐만 아니라, 기후변화 적응과 온실가스 완화 효과를 동시에 고려할 수 있다.

우리가 살고 있는 환경은 매우 복잡적이어서 탄소중립과 기후변화 적응을 구분할 필요가 없다. 나아가 지속가능한 발전(Sustainable Development Goals, SDGs) 역시 마찬가지이다.

〔그림 4〕 지속가능한 발전과 1.5°C 온난화(기상청, 2020)



IPCC(2018)에 따르면, SDGs의 성취는 탄소중립이며, 이는 1.5°C 지구온난화의 제한을 의미한다(그림 4). 이를 달성한다면 기후변화 적응으로 볼 수 있는 기후 복원력까지 확보하여 말 그대로 지속가능한 사회로 나아갈 수 있을 것이다.

IV. 기상청의 기후변화 적응대책

더 정확한 미래를 예측하기 위한 다원화된 과학적 감시정보에 대한 수요와 기후변화의 불확실성을 줄이기 위한 온실가스 감시정보에 대한 요구가 점차 증가하고 있다. 또한 기후변화 영향평가, 취약성평가를 위해서 IPCC 제6차 평가보고서에서 발표된 공통사회 경제경로(Shared Socioeconomic Pathways, SSP)에 대한 남한 상세화 자료와 적응대책 이행의 상세 모니터링 정보 등 기후변화 대응을 위한 많은 부분에서 다양한 정보에 대한 수요가 확대되고 있다.

국가 기후변화 적응대책 역시 마찬가지이다. 국가 기후변화 적응대책 수립을 위한 첫번째 단계는 기후변화에 대한 과학적 근거 마련이다. 과거와 현재에 기후변화로 인한 어떤 영향이 있었는지를 분석하고, 미래의 영향을 예측한다. 미래의 영향평가, 취약성평가 등을 통해 미래 기후변화의 리스크를 예측하고, 리스크를 줄일 수 있는 대책을 수립하는 것이 바로 국가 기후변화 적응대책이다. 이때, 현재까지의 축적된 정보를 통해 불확실성을 낮출 수 있는 예측자료가 적응대책 수립에 가장 중요한 역할을 한다.

「제3차 국가 기후변화 적응대책(2021-2025)」에서도 기상청은 이러한 감시·예측 및 평가 강화를 위해 많은 대책을 계획·이행하고 있다(환경부, 2020). 대표적인 대책으로는 지난 8월 발표되었던 IPCC 제6차 평가보고서의 공통사회 경제경로(SSP) 기반의 1km 격자 단위의 남한 상세 기후변화시나리오 생산, 천리안 2호를 활용한 핵심기후변화 자료 생산 및 확대, 채널수 증가를 통한 감시항목 확대, 시·공간해상도 향상 등 기후변화 연구에 반드시 필요한 정보를 꾸준히 생산하는 것이다. 우리나라에 관한 연구뿐만 아니라 전지구 온실가스 정보시스템 고도화, 기후변화 감시 공백 해소를 위한 지구 대기 감시망 최적화 등 전지구 차원에서의 기후변화 대응 대책도 수



립 후 이행 중에 있으며, 도시 규모 기상·기후 현상 메커니즘 분석 등 다양한 스케일에서의 기상·기후 정보 생산에 큰 역할을 하고 있다.

많은 사람들이 기상청의 역할은 IPCC 제1실무그룹(WG1, 기후변화 과학)과 유사하다고 하지만, 다양한 정보의 생산 및 제공기능 강화는 기후변화 적응 기반을 위한 매우 중요한 역할이다. 특히 이번 「제3차 국가 기후변화 적응대책 세부시행계획」의 도시규모 기상·기후형성 메커니즘 분석대책은 고해상도 자료에 대한 수요가 증가함에 따라 매우 중요한 연구라고 볼 수 있다. 기후 위기 대응을 위한 기후변화 적응에 기상청의 큰 역할을 기대할 수 있는 대목이다.

V. 결론

1.5°C 지구온난화 상승을 막기 위해서는 2050 탄소중립을 달성해야 하며, 이는 이산화탄소 순 배출량을 2030년까지 2010년대비 최소 45% 감축해야 함을 의미하는 것이다. 탄소중립의 이행은 향후 20년간 에너지, 토지이용, 도시, 수송과 건물을 포함한 기반시설, 그리고 산업체계의 빠르고 광범위한 시스템 전환이 필요함을 의미한다. 또한 기후변화의 원인물질인 온실가스 배출이 현저히 줄어들더라도 향후 최소 수십 년은 과거에 배출한 온실가스로 인해 지구온난화는 지속될 것이다. 따라서 우리는 온실가스 배출을 줄이는 동시에 새로운 기후환경에 적응해야 한다.

기후변화 적응은 온실가스 완화에 비하여 지역적인 접근이 매우 중요하다. 기후변화 영향은 지리적, 인적 및 물적 조건 등으로 인해 지역적으로 다르게 나타나고 이에 따른 피해와 편익 등이 직접적으로 발생하는 곳에서 대응해야 한다. 기후변화를 대처하는 지역 차원의 적응능력에 따라 영향정도 및 피해의 크기도 다르게 나타난다. 기후변화 적응과 적응계획 수립을 위해서는 기후변화에 관한 다양한 정보를 생산하는 기상청의 역할이 매우 중요할 것이다.

우리나라는 지난 9월 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」이 제정되고 내년 3월 시행을 앞두고 있다. 탄소중립을 법제화하였다는 점에서 큰 의의를 가지고 있으며, 기후변화 및 탄소중립으로 나타나는 다양한 현상에 대해 대응할 수 있는 수단을 우리는 이제 가지게 된 것이다. 탄소중립기본법에는 더이상 기후변화가 아니라 기후위기라고 정의하고 있다. 이러한 상황에서 기후변화 적응은 기후위기 대응에 있어 선택이 아닌 필수적인 수단인 것이다.

참고문헌

- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by S. Solomon et al., Cambridge Univ. Press, New York.
- IPCC, 2018: Global warming of 1.5°C.
- IPCC, 2021: Sixth Assessment Report WG I, Cambridge Univ. Press, New York.
- 국립기상과학원, 2018: 한반도 100년의 기후변화 보고서.
- 국립기상과학원, 2021: 우리나라 109년 기후변화 분석 보고서.
- 기상청, 2020: 지구온난화 1.5°C 특별보고서 해설서.
- 한국환경연구원, 2020: 기후변화 적응대책에서의 생태계기반 적응(Ecosystem-based Adaptation) 도입 방안 모색.
- 환경부 보도자료, 2021: 2050 탄소중립을 향한 경제·사회 전환 법제화 탄소중립기본법 국회 통과(2021.8.31.)
- 환경부, 2020: 제3차 국가 기후변화 적응대책(2021-2025).

기상기술정책지 발간 목록

창간호, 제1권 제1호(통권 창간호), 2008년 3월

칼 럼	• 기후변화 대응을 위한 기상청의 역할	권원태	3-11
정책초점	• 기후변화감시 발전 방향	김진석	12-18
	• 미국의 기상위성 개발현황과 향후전망	안명환	19-38
	• 기상산업의 위상과 성장가능성	김준모	39-45
	• 최적 일사 관측망 구축방안	이규태	46-57
	• 국가기상기술로드맵 수립의 배경과 의의	김백조, 김경립	58-61
논 단	• A New Generation of Heat Health Warning Systems for Seoul and Other Major Korean Cities	L.S. Kalkstein, S.C. Sheridan, Y.C.Au	62-68
해외기술동향	• 프랑스의 에어로솔 기후효과 관측 기술	김상우	69-79
	• 일본의 우주기상 기술	김지영, 신승숙	80-84

기상산업의 현황과 전략, 제1권 제2호(통권 제2호), 2008년 6월

칼 럼	• 기후변화시대, 기상산업 발전상	봉종헌	1-3
정책초점	• 기상산업의 중요성과 전략적 위치	이종우	5-13
	• 기후변화가 산업에 미치는 경제적 영향과 적응대책	한기주	14-22
	• 기후경제학의 대두와 대응 전략	임상수	23-33
	• 기후변화와 신재생에너지 산업	구영덕	34-45
	• 기상산업 육성을 위한 정책대안 모색	김준모, 이기식	46-54
	• 미국 남동부의 응용기상산업 현황	임영권	55-64
	• 최근 황사의 특성 및 산업에 미치는 영향	김지영	65-70
	논 단	• A brief introduction to the European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research (COST)	Radan Huth
해외기술동향	• 우주환경의 현황과 전망	안병호	82-92
	• 유럽의 기후변화 시나리오 불확실성 평가 : EU(유럽연합) 기후변화 프로젝트를 중심으로	임은순	93-103
	• 미국 NOAA의 지구 감시 현황	전영신	104-107

항공기 관측과 활용, 제1권 제3호(통권 제3호), 2008년 9월

칼 럼	• 기상 관측·연구용 항공기 도입과 활용	정순갑	1-4
정책초점	• 무인항공기 개발 현황 및 응용 방안	오수훈, 구삼욱	6-18
	• 해외 기상관측용 항공기 운영 및 활용 실태	김금란, 장기호	19-34
	• 항공기를 이용한 대기물리 관측 체계 수립 방안	오성남	35-45
	• 효과적인 항공기 유지 관리 방안	김영철	46-56
	• 공군에서의 항공관측 현황과 전망	김종석	57-66
	• 항공기를 이용한 대기환경 감시	김정수	67-74
	• 항공/위성 정보를 활용한 재해 피해 조사	최우정, 심재현	75-84
	논 단	• 유/무인항공기를 이용한 기후변화 감시	윤순창, 김지영
해외기술동향	• 미국의 첨단 기상관측 항공기(HIAPER) 운영 현황	김지영, 박소연	94-99
	• 미국의 탄소 추적자 시스템 개발 현황 및 전략	조천호	100-108
	• 미국의 우주기상 예보와 발전 방향	곽영실	109-117
뉴스 포커스	• 한국, IPCC 부의장국에 진출	허은	118-119

기상기술정책지 발간 목록

전자구관측시스템 구축과 활용, 제1권 제4호(통권 제4호), 2008년 12월

칼 럼	• 전자구관측시스템(GEOSS) 구축과 이행의 중요성	정순갑	1-4
정책초점	• GEO/GEOSS 현황과 추진 계획	엄원근	6-21
	• GEOSS 구축을 위한 전략적 접근 방안	김병수	22-31
	• GEO 집행위원회에서의 리더십 강화 방안	허 은	32-39
	• 국내의 분야별 GEOSS 구축과 발전 방안	신동철	40-41
	- 재해 분야	박덕근	42-44
	- 보건 분야	이희일	45-47
	- 에너지자원 분야	황재홍, 이사로	48-50
	- 기상 및 기후 분야	이병렬	51-53
	- 수문 및 수자원 분야	조효섭	54-56
	- 생태계와 생물다양성 분야	장임석	57-58
	- 농업 분야	이정택	59-62
- 해양 분야	김태동	63-67	
- 우주 분야	김용승, 박종욱	68-71	
논 단	• Taking GEOSS to the next level	José Achache	72-75
해외기술동향	• GEOSS 공동 인프라(GCI) 구축 동향	강용성	76-83
	• 최근 주요 선진국의 GEO 구축 현황	이경미	84-95
뉴스 포커스	• 한국, GEO 집행 이사국 진출	이용섭	96-97

기상장비의 녹색산업화 전략, 제2권 제1호(통권 제5호), 2009년 3월

칼 럼	• 녹색산업으로서의 기상장비 산업 육성 정책 방향	전병성	1-2
정책초점	• 기상장비의 산업여건과 국산화 전략	김상조	4-13
	• 기상장비 수출 산업화를 위한 성공전략	이종국	14-21
	• 기상레이더 국산화 추진 방안	장기호, 석미경, 김정희	22-29
	• 기상레이더의 상용화 현황과 육성 방안	조성주	30-41
	• 기상장비의 시장성 확보 전략 및 방향	이부용	42-51
논 단	• 외국의 기상레이더 개발 동향과 제언	이규원	52-72
해외기술동향	• 유럽의 기상장비 산업 현황: 핀란드 바이살라를 중심으로	방기석	73-80
	• 세계의 기상장비 및 신기술 동향	김지영, 박소연	81-89

기후변화와 수문기상, 제2권 제2호(통권 제6호), 2009년 6월

칼 럼	• 기후변화에 따른 수문기상 정책 방향	전병성	1-2
정책초점	• 기후변화와 물환경정책	김영훈	4-15
	• 기후변화에 따른 물 관리 정책 방향	노재화	16-27
	• 기후변화에 따른 하천 설계빈도의 적정성 고찰	김문모, 정창삼, 여운광, 심재현	28-37
	• 수문기상정보를 활용한 확률강우량 산정 방안	문영일, 오태석	38-50
	• 수문기상학적 기후변화 추세	강부식	51-64
	• 기상정보 활용을 통한 미래의 물관리 정책	배덕호	65-77
	• 이상기름에 대응한 댐 운영 방안	차기욱	78-89
논 단	• 기후변화의 불확실성 해소를 위한 대응방안	양용석	90-110
해외기술동향	• 미국의 기상-수자원 연계기술 동향	정창삼	111-121
	• NOAA의 수문기상 서비스 및 연구개발 현황	김지영·박소연	122-131
	• 제5차 세계 물포럼(World Water Forum) 참관기	김용상	132-140

기상기술정책지 발간 목록

기상·기후변화와 경제, 제2권 제3호(통권 제7호), 2009년 9월

칼 럼	• 기상정보의 경제적 가치 제고를 위한 정책 방향	전병성	1-2
정책초점	• 기후변화에 따른 에너지정책	박현종	4-18
	• 기후변화 대응이 경제에 미치는 영향	박종현	19-29
	• 기후변화가 농업경제에 미치는 영향	김창길	30-42
	• 기상 재난에 따른 경제적 비용 손실 추정	김정인	43-52
	• 기상산업 활성화와 과제	이만기	53-59
	• 날씨 경영과 기상산업 활성화를 위한 정책 제언	김동식	60-69
논 단	• 기후변화와 새로운 시장	이명균	70-78
해외기술동향	• 기상정보의 사회·경제적 가치와 편익 추정	김지영	79-85
	• 강수의 경제적 가치 평가 방법론	유승훈	86-96
뉴스 포커스	• 기상정보의 경제적 가치 평가 워크숍 개최 후기	이영곤	97-103

날씨·기후 공감, 제2권 제4호(통권 제8호), 2009년 12월

칼 럼	• 날씨공감포럼의 의의와 발전방향	전병성	1-2
정책초점	• [건강] 지구온난화가 건강에 미치는 영향	고상백	4-19
	• [해양] 기후변화에 있어서 해양의 중요성과 정책방향	이재학	20-29
	• [산림] 기후변화에 따른 산림의 영향과 정책방안	차두송	30-41
	• [관광] 기후변화 시대의 관광 활성화 정책방향	김익근	42-50
	• [도시기후] 대구의 도시 기후 및 열 환경 특성	조명희, 조유원, 김성재	51-60
	• [에너지] 태양에너지 소개와 보급의 필요성	김정배	61-72
	• [디자인] 생활디자인과 기후·기상과의 연계방안	김명주	73-88
논 단	• 국민과의 '소통' - 어떻게 할 것인가?	김연중	89-97
뉴스 포커스	• 날씨공감포럼 발전을 위한 정책 워크숍 개최 후기	김정윤	98-101

기후변화와 산업, 제3권 제1호(통권 제9호), 2010년 3월

칼 럼	• 기후변화에 따른 기상산업의 성장가능성과 육성정책	박광준	1-2
정책초점	• 기상이변의 경제학	이지훈	4-11
	• 기후변화 영향의 경제적 평가에 관한 소고	한기주	12-21
	• 기후변화 정책에 따른 산업계 영향 및 제언	이종인	22-32
	• 기후변화예측 관련 기술 동향 및 정책 방향	이상현, 정상기, 이상훈	33-45
	• 기후변화와 건설 산업	강운산	46-56
	• 코펜하겐 어코드와 탄소시장	노종환	57-66
	• 기후변화, 환경산업 그리고 환경경영	이서원	67-77
	• 이산화탄소(CO ₂) 저감기술 개발동향: DME 제조기술	조원준	78-84
논 단	• 기후변화와 정보통신 산업의 상관관계: 그린 IT를 중심으로	양용석	85-99
	• 기후변화 대응을 위한 산업계 및 소비자의 책임	김창섭	100-109
뉴스 포커스	• 기후변화미래포럼 개최 후기	김정윤	110-115

기상기술정책지 발간 목록

국가 기후정보 제공 및 활용 방안, 제3권 제2호(통권 제10호), 2010년 6월

칼 럼	주요 내용	저자	페이지
	• 국가기후자료 관리의 중요성	켄 크로포드	1-2
정책초점	• 기후변화통합영향평가에대한 국가기후정보의 역할	전성우	4-11
	• 친환경 도시 관리를 위한 기후 정보 구축 방안	권영아	12-22
	• 기상정보의 농업적 활용과 전망	심교문	23-32
	• 기상자료 활용에 의한 산불위험예보 실시간 웹서비스	원명수	33-45
	• 경기도의 기상·기후정보 활용	김동영	46-57
	• 국가기초풍속지도의 필요성	권순덕	58-62
	• 국가기후자료센터 구축과 기상산업 활성화	김병선	63-74
	• 국가기후자료센터 설립과 민간의 역할 분담	나성준	75-83
	• 가치있는 기후정보	김윤태, 정도준	84-99
논 단	• 기상청 기후자료 활용 증대 방안에 관한 제언	최영은	100-110
뉴스 포커스	• 국가기후자료센터의 역할	임용한	111-119

장기예보 정보의 사회경제적 가치와 활용, 제3권 제3호(통권 제11호), 2010년 9월

칼 럼	주요 내용	저자	페이지
	• 장기예보 투자 확대해야	박정규	1-2
정책초점	• 전력계통 운영 분야의 기상정보 활용	정응수	4-15
	• 기상 장기예보에 대한 소고	박창선	16-23
	• 패션머천다이징과 패션마케팅에서 기상 예보 정보의 활용	손미영	24-33
	• 장기예보의 사회·경제적 가치와 서비스 활성화 방안	김동식	34-43
	• 기상 장기예보의 농업적 가치와 활용	한점화	44-53
	• 장기예보 정보의 물관리 이수(利水) 측면에서의 가치와 활용	우수민, 김태국	54-64
	• 기상예보와 재해관리	박종윤, 신영섭	65-81
	• 장기예보 업무의 과거, 현재, 그리고 미래	김지영, 이현수	82-89
해외기술동향	• 영국기상청(Met Office) 해들리센터(Hadley Centre)의 기후 및 기후 영향에 관한 서비스 현황	조경숙	90-101
	• WMO 장기예보 다중모델 앙상블 선도센터(WMO LC-LRFMME)	윤원태	102-106
뉴스 포커스	• 영국기상청과의 계절예측시스템 공동 운영 협정 체결	이예숙	107-109

사회가 요구하는 미래기상서비스의 모습, 제3권 제4호(통권 제12호), 2010년 12월

칼 럼	주요 내용	저자	페이지
	• 시대의 요구에 부응하는 기상·기후서비스	권원태	1-3
정책초점	• 기상학의 역사	윤일희	6-16
	• 지질학에서 본 기후변동의 과거, 현재, 그리고 미래	이용일	17-29
	• 예보기술의 성장 촉진을 위한 광각렌즈	변희룡	30-44
	• 전쟁과 기상	반기성	45-55
	• 날씨와 선거	유현종	56-64
	• 기후변화와 문학	신문수	65-74
	• 기후변화와 문화 I (문명의 시작과 유럽문명을 중심으로)	오성남	75-87
	• 비타민 D의 새로운 조명	김상완	88-96
	• G20서울정상회담과 경호기상정보 생산을 위한 기상청의 역할	이선제	97-105
	논 단	• 기상정보의 축적과 유통 활성화를 통한 국부 창출	김영신
• 날씨의 심리학		최창호	116-122
해외기술동향	• 기상정보의 사회·경제적 평가에 관한 해외동향	김정윤, 김인겸	123-130

기상기술정책지 발간 목록

신규 시장 창출을 통한 기상산업 육성 방안, 제4권 제1호(통권 제13호), 2011년 6월

발간사	• G20 국가에 걸맞는 기상산업 발전 방향	조석준	1-3
칼럼	• 대학과 공공연구소의 기상기술 이전 활성화 및 사업화 촉진을 위한 기술이전센터(TLO) 발전 방안	박종복	4-13
	• 새로운 기상산업 시장창출과 연계된 금융시장 활성화에 대한 소고 - 보험산업의 입장에서	조재린, 황진태	14-23
정책초점	• 신규 기상시장 창출을 통한 기상산업 육성 방안 연구	국립기상연구소 정책연구과	26-63

도시기상관측 선진화방안, 제4권 제2호(통권 제14호), 2011년 12월

발간사	• 도시기상 선진화, 미래의 약속입니다.	조석준	1-3
칼럼	• 도시기후 연구의 과거, 현재, 미래	최광용	6-18
	• 기후변화로 인한 도시 재해기상의 특성 변화 및 기상관측 선진화 방안	박민규, 이석민	19-30
	• 도시열섬의 환경평가와 도시기상관측시스템 구축방안	김해동	31-42
	• 수치모델을 이용한 도시기상 연구의 현재와 한계	이순환	43-50
	• 도시 기상 관측 연구 현황	박영산	51-62
정책초점	• 도시기상 관측 선진화 방안 연구	이영곤	64-73

원격탐측기술(레이더, 위성, 고층) 융합정책 실용화 방안, 제5권 제1호(통권 제15호), 2012년 6월

칼럼	• 원격탐측의 융합정책과 기상자원 가치 확산	Kenneth Crawford	3-8
정책초점	• 레이더-위성 융합 강수정보 생산 기술	신동빈	10-18
	• 위성과 첨단기술 융합을 통한 미래 기상서비스 발전 방향	은종원	19-27
	• 라이더 관측기술 활용 방안	김덕현	28-41
	• 위성기술을 이용한 수문분야의 융합 정책	배덕호, 이병주	42-53
	• 위성자료의 해양 환경감시 활용	황재동	54-65
논단	• 우리나라의 융합기술발전 정책 방향	이상현	66-72
해외기술동향	• 일본의 원격탐사 활용 및 융합정책	윤보열, 장희욱, 임효숙	73-85
포커스	• 레이더 융합행정 포럼 : 레이더운영과	송원화	86-93

해양기상서비스의 현황 및 전망, 제5권 제2호(통권 제16호), 2012년 12월

칼럼	• 해양기상서비스의 의미 및 가치 확산	박관영	3-7
정책초점	• 해양기상 융합서비스의 필요성	김민수	10-20
	• 수자원 변동에 따른 해양기상서비스의 강화	김희용	21-29
	• 해양기상정보 관리의 선진화 방안	정일영	30-39
	• 해양기상·기후변화 대응을 위한 정책제언	양홍근	40-47
논단	• 해양기상서비스 현황과 정책 방향	김유근	48-57
해외기술동향	• 선진 해양기상기술 동향	우승범	58-67
포커스	• 제4차 WMO/IOC 해양학 및 해양기상 합동기술위원회(JCOMM) 총회	해양기상과	68-73

기상기술정책지 발간 목록

국민의 행복 증진을 위한 "기상기후서비스 3.0", 제6권 제1호(통권 제17호), 2013년 6월

칼 럼	• 국민이 원하는 기상기후서비스	이일수	3-4
정책초점	• 기상기후분야 과학과 서비스 발전 방향	전종갑	6-14
	• 지진조기경보 역량 강화를 위한 정책적 제언	최호선	15-30
	• 기상기후 서비스 혁신을 위한 기술경영 전략	박선영	31-47
	• 자연재해 대응 서비스 기술 및 정책변화	허종안, 손흥민	48-59
논 단	• 수요자 맞춤형 서비스를 위한 기상기술 고도화 방안	김영준	60-72
포 커 스	• 국민행복서비스 포럼 개최 후기	국립기상연구소 정책연구과	73-78

빅데이터 활용 기상융합서비스, 제6권 제2호(통권 제18호), 2013년 12월

칼 럼	• 정부3.0에 따른 기상기후 빅데이터 활용	고윤화	3-4
정책초점	• [정책] 정부3.0 지원을 위한 빅데이터 융합전략	안문석	6-13
	• [정보] 스마트국가 구현을 위한 빅데이터 활용방안	김현곤	14-31
	• [서비스] 빅데이터 분석 기반 기상예보의 신뢰도 향상 방안	이기광	32-46
	• [경영] 빅데이터 기반 날씨경영 성과 제고 방안 - 공항기상정보 활용사례 -	방기석	47-58
	• [농업] 기후변화시나리오 활용 농업 기상 과학 융합 전략	김창길, 정지훈	59-76
	• [재난] 재난관리의 새로운 해결방안, 빅데이터	최선화, 김진영, 이종국	77-87
논 단	• 기상기후데이터를 품은 빅데이터	이재원	88-97
	• 한국형 복지국가의 전략적 방향성안	안상훈	98-111

기상기후 빅데이터와 경제, 제7권 제1호(통권 제19호), 2014년 6월

칼 럼	• 기상기후 빅데이터를 활용한 날씨경영	고윤화	3-4
정책초점	• 기상기후정보의 사회경제적 역할	안중배	6-11
	• 미래 재난재해 해결을 위한 기상기후 서비스	김도우, 정재학	12-19
	• 빅데이터의 사회경제적 파급효과	김진화	20-30
	• 기상기후 빅데이터의 산업경영 활용과 전략	김정인	31-41
	• 기상기후 빅데이터 기반 기상산업육성	송근용	42-56
논 단	• 빅데이터 기반의 미래 산업	황종성	57-71
	• 기상기후정보 효율성 제고를 위한 융복합 연구	이성종	72-77
포 커 스	• 위험기상에 따른 기상기후 빅데이터 활용	국립기상연구소 정책연구과	78-93

위성 기술과 활용, 제7권 제2호(통권 제20호), 2014년 12월

칼 럼	• 위성을 활용한 전 지구적 관측 방안	고윤화	3-4
정책초점	• 기상위성 운영기술의 선진화 방안	김방업	6-15
	• 관측위성기술의 현황 및 전망	김병진	16-24
	• 연구개발용 위성의 현업 활용성 제고 방안	안명환	25-43
	• 위성을 이용한 국가재난감시 체계 구축	윤보열, 염종민, 한경수	44-56
	• 위성영상서비스 시장 빅뱅과 새로운 관점	조황희	57-67
논 단	• 우주기상의 연구 현황 및 발전 방향	김용하	68-81
해외기술동향	• 기상위성 기술 정책 정보 동향	국가기상위성센터 위성기획과	82-92
	• 위성기반 작전기상 소개	안숙희, 김백조	93-100

기상기술정책지 발간 목록

장마의 사회경제적 영향, 제8권 제1호(통권 제21호), 2015년 6월

칼 럼	• 장마와 날씨경영	고윤화	3-5
정책초점	• 수자원 확보에 있어서 장마의 역할	박정수	8-16
	• 장마가 농업생산에 미치는 영향	최지현	17-24
	• 장마의 변동성과 예측성 향상	서경환	25-30
	• 장마기간 유통산업 영향 및 전략	김정윤	31-40
	• 장마철 유의해야할 건강 상식	이준석	41-51
논 단	• 장마-몬순 예측기술 향상 방안	하경자	52-59
해외기술동향	• 동아시아 여름강수 예측기술 현황	권민호	60-65

겨울철 위험기상의 영향과 대응, 제8권 제2호(통권 제22호), 2015년 12월

칼 럼	• 겨울철 위험기상 예보의 중요성	고윤화	3-4
정책초점	• 겨울철 위험기상을 위한 에너지 정책	김두천	6-17
	• 한국의 동절기 도로제설 현황	양충현	18-29
	• 한파가 농업에 미치는 영향	심교문	30-41
	• 겨울철 한파 대비 건강관리	송경준	42-56
	• 겨울철 위험기상의 예측능력 향상	김주홍	57-68
논 단	• 미래 겨울철 위험기상의 변화	차동현	69-75

영향예보의 현황 및 응용, 제9권 제1호(통권 제23호), 2016년 6월

칼 럼	• 영향예보를 통한 기상재해 리스크 경감	고윤화	3-4
정책초점	• 영향예보 비전과 추진 방향	정관영	6-22
	• 재해기상 영향예보시스템 현황 소개	최병철	23-31
	• 영향예보 지원을 위한 수치예보 개발 방향	김동준	32-40
	• 영향예보를 위한 수문기상정보 지원	이은정	41-51
	• 재해영향예보의 효과	손철, 김건후	52-63
포 커 스	• 확률 예보를 위한 앙상블예측 기술 소개 및 현황	강지순	64-74

인공지능을 접목한 기상 분야 활용, 제9권 제2호(통권 제24호), 2016년 12월

칼 럼	• 기상서비스를 변화시키는 인공지능	고윤화	3-4
정책초점	• 인공지능의 발달이 몰고 오는 변화상	진석용	6-20
	• 4차 산업혁명과 기상예보시스템의 혁신	최혜봉	21-30
	• 인공지능 시대를 살아가기 위한 인간 능력은?	구본권	31-50
	• 인공지능의 기상정책 개발 활용	국립기상과학원	51-63
	논 단	• 인공지능 도입으로 정확도를 혁신하는 기상예보	고한석

기상기술정책지 발간 목록

영향예보 서비스 확대, 제10권 제1호(통권 제25호), 2017년 6월

칼 럼	• 영향예보 서비스 개발과 활성화	고윤화	3-4
정책초점	• 영향예보 서비스 확대를 위한 제언	예상욱	6-17
	• 교통안전관리를 위한 도로기상정보 활용	손영태	18-30
	• 태풍 재해 리스크 관리를 위한 영향예보	이은주	31-40
	• 기상, 기후 그리고 숲과 사람	박주원	41-55
	• KISTI 재난대응 의사결정지원시스템(K-DMSS) 소개	조민수	56-70
논 단	• 기상예측정보를 활용한 농경지 물사용 영향예보	최진용, 홍민기, 이성학, 이승재	71-81
	• 화재 기상예보 서비스	류정우, 권성필	82-92
포 커 스	• 오픈데이터와 일본기상비즈니스 컨소시엄	정효정	93-107

4차 산업혁명과 미래 기상기술, 제10권 제2호(통권 제26호), 2017년 12월

칼 럼	• 기후변화 저감을 위한 미래 기상기술	남재철	3-4
정책초점	• 4차 산업혁명과 미래 기후변화 대응기술	김형주	6-15
	• 4차 산업혁명 시대의 기후변화 대응	채여라	16-25
	• 인공지능 기술 발전을 위한 제도 및 정책	김윤정	26-43
	• 기후변화 대응을 위한 에너지 정책	전재완	44-54
논 단	• 기후변화에 대응하기 위한 농업과 과학기술의 융합	이현숙	55-65
포 커 스	• 4차 산업혁명과 미래 전문직	윤상후	66-73

여름철 위험기상의 영향과 대응, 제11권 제1호(통권 제27호), 2018년 6월

칼 럼	• 국민의 안전을 위협하는 여름철 폭염과 대응	남재철	3-4
정책초점	• 기후변화로 심화되는 폭염 대응을 위한 경보체계의 개발	이명인	6-18
	• 재난정보관리 표준화 기술 개발	김병식	19-34
	• 지표홍반자와선정보 제공 및 향후 대응	박상서	35-43
	• 스마트 폭염대응을 위한 기상 전문가의 역할	권용석	44-53
	• 인공지능을 활용한 재해기상 저감-예측 기술	김동훈	54-69
논 단	• 미래 여름철 기온변화에 의한 건강영향 예측	이재영, 김호	70-77
포 커 스	• 폭염 피해와 정책 동향	김도우	78-85

기상정보 활용 확대와 기상청의 역할, 제12권 제1호(통권 제28호), 2019년 6월

칼 럼	• 날씨, 국민 생활의 시작과 끝	김종석	3-4
정책초점	• 기상조건에 따른 이동수요의 변화	이재호, 전재영	6-14
	• 기상데이터로 알려주는 국민건강 알람서비스	한성욱, 전예슬	15-23
	• 신재생에너지 발전량 예측에서의 기상정보 활용	이영미, 박다빈	24-32
	• ICT수목원과 기상기술	이상용	33-43
	• 기후변화가 농작물 생산에 미치는 영향과 대응	문경환	44-57
	• 4차 산업혁명 기술을 활용한 친환경 건축/도시 설계 기술	이호영	58-69
	• 실시간 수(水)재해 예측을 위한 기상정보 활용 방안	이병주	70-80
포 커 스	• 복합재난대응 연구사례 중 도심지 침수 현상을 중심으로	백용, 이동섭, 김형준	81-87

기상기술정책지 발간 목록

겨울철 위험기상의 사회경제적 영향, 제12권 제2호(통권 제29호), 2019년 12월

칼 럼	• 겨울철 안심사회 건설과 기상청의 기여	김종석	3-4
정책초점	• 도로에서의 기상정보 활용 및 시스템 구축 사례	윤덕근	6-16
	• 정확한 산불위험 예보를 위한 노력	이병두	17-24
	• 기해년 4월 산불 이후, 「산불극복 뉴딜 전략」 제안	김경남	25-39
	• 미세먼지 개선을 위한 국가 정책 및 기술 방향	심창섭	40-48
	• 2019년 겨울철 대설·한파 종합대책	최병진	49-59
	• 건강한 겨울나기, 겨울철 질환에 대한 예방 및 대응	임도선	60-68
논 단	• 서울시 미세먼지 저감정책의 효과: 차량 배출량 관점	허창희	69-80

중규모 대류계 기상현상의 이해와 대응, 제13권 제1호(통권 제30호), 2020년 6월

칼 럼	• 호우 피해, 아는 만큼 대비할 수 있다	김종석	3-4
정책초점	• 코로나, 4차 산업혁명, 그리고 대기 관측	홍진규	6-23
	• 도시 돌발홍수 관리를 위한 수문과 기상 기술의 융합	황석환, 이동률	24-40
	• 기후변화 대응과 소화전 계측기술	정태성	41-52
	• 돌발 기상 예보와 과제	이우진	53-65
논 단	• 중규모 대류계의 예측	이동규	66-79
	• 위성원격탐사 기반의 한반도 하계 강우특성 진단	손병주	80-90
	• 중규모 대류계 연구를 위한 국지기상관측 제언	이규원	91-105
포 커 스	• 집중호우 등 풍수재 사고와 담보보험	이보영	106-112

유관 부처 기상정보 관측·예측기술 현황, 제13권 제2호(통권 제31호), 2020년 12월

칼 럼	• 소금과 같은 기상서비스, 가치를 더하기 위해 부처협업이 필요한 때입니다	박광석	3-4
정책초점	• 국립해양조사원 해양예보서비스 현황	이준식	6-16
	• 동해연안 원전주변 해양환경변화 실시간 모니터링시스템	신종훈	17-31
	• 도로기상정보를 활용한 도로살얼음 사고예방 사례와 제언	경기원	32-43
	• 해양로봇을 활용한 해양 공간 조사와 활용	권오순	44-54
	• 국가대기오염측정망 운영과 명예대기관리원 제도	박지해	55-63
	• 식물계절 현장 관측자료를 활용한 산림생태계의 기후변화 영향 예측	손성원	64-72
	• 드론과 위성을 활용한 디지털 농업관측기술	홍석영	73-86
	• 홍수관리를 위한 기상 관측 및 정보 활용 현황	현명숙	87-98

미래 도심항공교통(UAM) 준비를 위한 지식·기술 그리고 정책, 제14권 제1호(통권 제32호), 2021년 6월

칼 럼	• 도심항공모빌리티(UAM) 성공을 위한 필수 정보 '기상정보'	박광석	3-4
정책초점	• 도심항공교통을 위한 기상관측 제언	이규원	6-19
	• 도심항공기상을 위한 중미기상학	강성락	20-31
	• 안전한 UAM을 향한 제언	홍진규	32-41
	• 도심항공교통(UAM) 안전을 위한 바람시어 및 돌풍감지시스템	박문수	42-55
논 단	• K-UAM 사업으로의 도시대기과학 연구 활용	김재진	56-66
포 커 스	• UAM 운항 지원을 위한 항공기상 자료 관련 제언	구성관	67-76

기상기술정책지 발간 목록

2050 탄소중립 대응 전략, 제14권 제2호(통권 제33호), 2021년 12월

칼 럼	• 탄소중립을 위한 청량음료 한 모금	박광석	3-4
정책초점	• 2050년 탄소중립 달성 전략	노동운	6-18
	• 2050 탄소중립 추진전략(에너지기술)	김현구	19-25
	• '2050 탄소중립'과 기후변화 과학	전의찬	26-32
	• 탄소중립 이행을 위한 신재생에너지 발전 분야의 이음새 없는(Seamless) 기후예측정보의 활용 제언	오지현	33-44
	• 2050 탄소중립 달성을 위한 생태계의 역할	이동근	45-55
	• 탄소중립대응을 위한 탄소흡수원 관리	이우균	56-65
포 커 스	• 기후위기 극복을 위한 탄소중립과 기후변화 적응	박진한	66-74

『기상기술정책』 투고 안내

투고방법

1. 본 정책지는 기상기술 분야와 관련된 정책적 이슈나 최신 기술정보 동향을 다룬 글을 게재하며, 투고된 원고는 다른 간행물이나 단행본에서 발표되지 않은 것이어야 한다.
2. 원고의 특성에 따라 다음과 같은 5종류로 분류된다.
(1) 칼럼 (2) 정책초점 (3) 논단 (4) 해외기술동향 (5) 뉴스 포커스
3. 본 정책지는 연 2회(6월, 12월) 발간되며, 원고는 수시로 접수한다.
4. 원고를 투고할 때는 투고신청서, 인쇄된 원고 2부, 그림과 표를 포함한 원본의 내용이 담긴 파일(hwp 또는 doc)을 제출하며, 일단 제출된 원고는 반환하지 않는다. 원고접수는 E-mail을 통해서도 가능하다.

원고심사

1. 원고는 편집위원회의 검토를 통하여 게재여부를 결정한다.

원고작성 요령

1. 원고의 분량은 A4용지 10매 내외(단, 칼럼은 A4용지 3~5매 분량)로 다음의 양식에 따라 작성한다.
 - 1) 워드프로세서는 '아래한글' 또는 'MS Word' 사용
 - 2) 글꼴: 신명조
 - 3) 글자크기: 본문 11pt, 표:그림 10pt
 - 4) 줄간격: 160%
2. 원고는 국문 또는 영문으로 작성하되, 인명, 지명, 잡지명과 같이 어의가 혼동되기 쉬운 명칭은 영문 또는 한자를 혼용할 수 있다. 학술용어 및 물질명은 가능한 한 국문으로 표기한 후, 영문 또는 한문으로 삽입하여 표기한다. 숫자 및 단위의 표기는 SI규정에 따르며, 복합단위의 경우는 윗 첨자로 표시한다.
3. 원고 첫 페이지에 제목, 저자명, 소속, 직위, E-mail 등을 명기하고, 저자가 다수일 경우 제1저자를 맨 위에 기입하고, 나머지 저자는 그 아래에 순서대로 표시한다.
4. 원고의 계층을 나타내는 단락의 기호체계는 I, 1, 1), (1), ①의 순서를 따른다.
5. 표와 그림은 본문의 삽입위치에 기재한다. 표와 그림의 제목은 각각 원고 전편을 통하여 일련번호를 매겨 그림은 아래쪽, 표는 위쪽에 표기하며, 자료의 출처는 아랫부분에 밝힌다.
예) <표 1> <표 2> [그림 1] [그림 2]
6. 참고문헌(reference)
 - 1) 참고문헌 표기 양식
 - 참고문헌은 본문의 말미에 첨부하되 국내문헌(가나다 순), 외국문헌(알파벳 순)의 순서로 정리한다.
 - 저자가 3인 이상일 경우, '등' 또는 'et al.'을 사용한다.
 - 제1저자가 반복되는 경우 밑줄(_)로 표시하여 작성한다.
 - 2) 참고문헌 작성 양식
 - 단행본: 저자, 출판년도: 서명(영문은 이탤릭체), 출판사, 총 페이지 수.
 - 학술논문: 저자, 출판년도: 논문명, 게재지(영문은 이탤릭체), 권(호), 수록면.
 - 학술회의(또는 세미나) 발표논문: 저자, 발표년도: 논문명, 프로시딩명(영문은 이탤릭체), 수록면.
 - 인터넷자료: 웹 페이지 주소

METEOROLOGICAL TECHNOLOGY & POLICY

A decorative graphic consisting of several overlapping, wavy, translucent blue lines that flow across the middle of the page, creating a sense of movement and depth.

Volume 14, Number 2

33, Seohobuk-ro, Seogwipo-si, Jeju-do, 63568, Korea

TEL. 064-780-6545 | FAX. 064-738-6513

<http://www.kma.go.kr>