

Greenovation

&

Issues&Insights

2024년

02

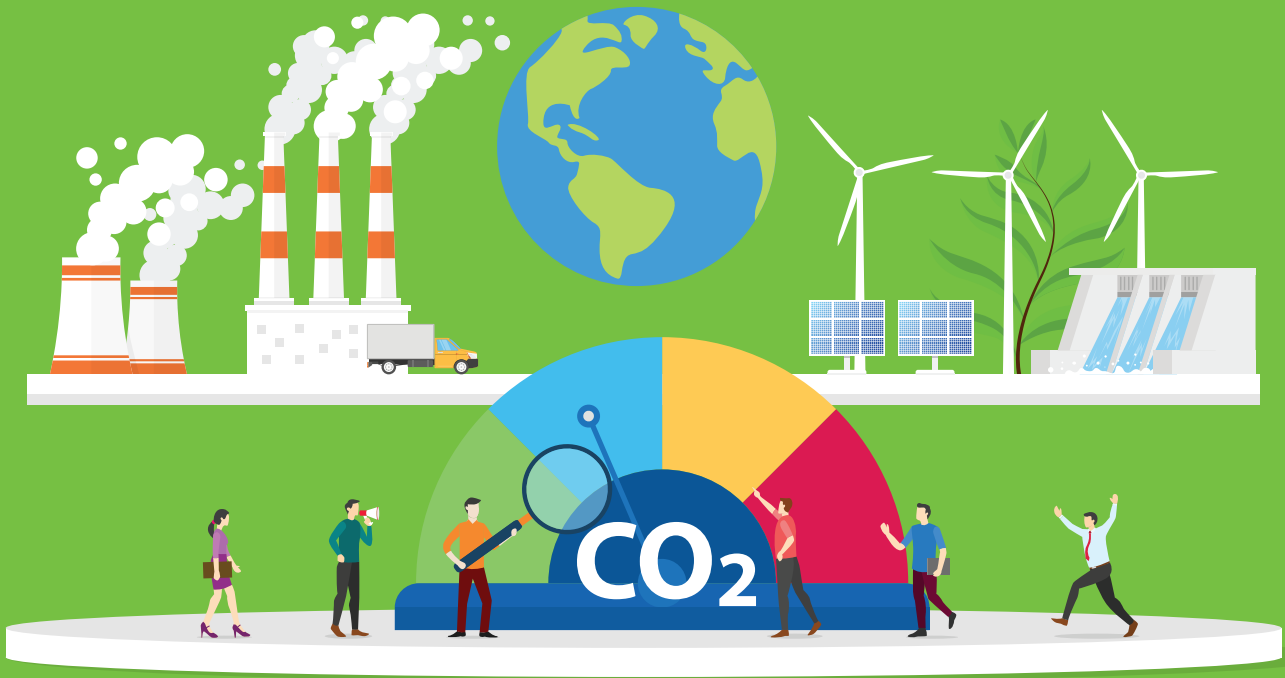
발간일 | 2024년 2월 27일

기술선도국의 탄소중립 R&D 투자현황과 시사점

전은진 구지선 조민선 최고봉 박철호

기후 온난화 줄무늬를 아시나요? 2023년의 한반도, 관측 사상 가장 뜨거웠다

김진두



기술선도국의 탄소중립 R&D 투자현황과 시사점

전은진 제도혁신센터

구지선 제도혁신센터

조민선 제도혁신센터

최고봉 제도혁신센터

박철호 정책연구본부

서론

지난 2018년, 인천 송도에서 만장일치로 채택된 IPCC의 「지구 온난화 1.5°C 특별보고서」는 2100년도까지 지구 평균기온 상승 폭을 1.5°C 이내로 제한하기 위해서는 전 지구적으로 2050년경에는 탄소중립에 도달해야 함을 경고하였다. 이에 따라, 전 세계적으로 심층 탈탄소화(deep decarbonization)를 더욱 가속화하기 위한 노력을 경주하기 시작하였으며, 2050 탄소중립 목표 선언은 이러한 배경하에서 확산되기 시작했다. 198개국 중 탄소중립을 선언한 국가 수는 현재 151개국¹에 달하고 있다.

프랑스, 영국, 독일 등 기술선도국에서는 탄소중립 목표를 성문법상에 명시하고, 이에 기반하여 온실가스 감축을 하기 위한 여러 가지 정책들을 적극적으로 시행하고 있다. 기술 수준이 높은 국가들에 있어서는 온실가스 배출량의 규제는 새로운 시장 형성과 무역장벽으로서 활용할 가능성이 크기 때문이다. 우리나라 또한, 이러한 상황에 대비하기 위해 2020년 12월에 2050년 탄소중립 목표를 선언한 후 탄소중립·녹색성장 기본법 제정을 통하여 세계에서 14번째로 탄소중립 비전을 법제화한 바 있다. 단순한 법제화에 그치지 않고 실제로 ‘탄소중립 추진전략’을 시작으로 하여 다양한 정책적 노력도 함께 기울이고 있는 상황이다. 특히 핵심 기술 확보의 중요성을 인식하고 ‘기후변화 대응 기술개발 촉진법’을 제정하고, 법정계획으로서 ‘기후변화 대응 기술개발 기본계획’을 추진하고 있다. 이외에도 탄소중립 녹색성장 기술혁신전략(2022) 및 전략 로드맵 등 다양한 세부 전략들을 추진하고, R&D 투자를 확대해 왔다.

그러나, 러시아-우크라이나 전쟁, 미-중 패권 경쟁 등의 지정학적 요인으로 인한 공급망 위기 등 대외 환경에서의 악재들이 전방위로 여파를 남기고 있다. COVID19 이후의 경제불황은 탄소중립 목표달성을 위해 적극적인 자원 투입을 결정하기 어렵게 만드는 요인으로 작용한다. 이는 R&D 재원도 예외가 될 수 없다.

본 브리프는 우리나라의 2025년도 탄소중립 분야 R&D투자 방향 수립 및 R&D 예산 배분·조정 과정에 대비하여 마찬가지로 환경을 직면하고 있는 기술선도국의 행보를 분석하고자 하는 목적으로 작성되었다. 먼저 국가별 행보에 영향을 미치는 대내외 환경변화를 조망한 후, 기술선도국별 정책적 배경에 관한 검토를 기반으로 최근 R&D 투자 관련 통계 및 예산안을 검토하여 특이사항을 분석하여 시사점을 제시하고자 한다.

1 Net Zero Tracker(Retrieved from : <https://zerotracker.net>(Accessed on : 2024-01-06)).

대내외 환경변화

저성장 시대 극복 전략으로서 탄소중립·녹색성장

글로벌 금융위기 이후 저성장이 일상화되는 뉴노멀 시대가 도래하였고, COVID19의 확산은 경제활동을 위축시켰을 뿐만 아니라 경제·사회 전반에 걸쳐 많은 변화를 초래하였다. 포스트코로나가 어느 정도 정착된 2023년은 러시아-우크라이나 전쟁에 따른 식량·에너지 위기, 급격한 금리 인상과 인플레이션 등 경제적 위험 요인이 지속된 한 해이기도 했다. 올해의 세계 경제도 작년과 같이 성장이 정체될 것으로 전망되는데, 국제통화기금은 2024년의 세계 경제가 고금리 기조 장기화와 중국 경기 부진 등으로 인해 2023년보다 소폭 낮은 2.9% 성장할 것으로 예측한 바 있다².

우리나라의 경제성장률은 더 낮은 2.2%에 머물 것으로 예상³되면서 저성장 극복을 위한 전략이 필요한 시점이다.

한편 코로나 팬데믹은 기후변화 대응의 필요성을 일깨우는 계기로 작용하였다. 과거부터 탈탄소 전환에 적극적이었던 EU는 2050년 기후중립 목표를 선언하는 한편 온실가스 감축목표를 법제화하였고, 역외 기업에 탄소배출 비용을 부과하는 탄소국경조정제도를 도입하였다. 또한 기업의 지속가능성 공시를 위한 지침은 물론 기후 목표에 부합하는 경제활동을 구별하고 그린워싱을 방지하기 위한 그린 택소노미(green taxonomy)를 마련하는 등 지속가능금융 체계를 구축해 나가고 있다. 이러한 흐름은 EU에 국한되지 않는데, 세계 각국도 탄소중립 목표를 선언하고 온실가스 감축목표를 법제화하였으며, 기업에게 ESG 정보를 공시할 것을 의무화하고 있다. 지속가능성 정보 공시에 관한 글로벌 기준점을 마련하기 위해 국제지속가능성기준위원회(International Sustainability Standards Board)가 설립되었고, 국제표준으로 기능할 ESG 정보 공시 기준 역시 발표된 상황이다.

이제 기후변화 대응과 탄소중립 달성은 단순한 환경문제를 넘어 경제문제가 되었다고 보아도 무방하다. 점차 강화되는 탄소 규제는 무역장벽이자 경제규제로 기능하고 있으며, 금융·투자 기관들은 기후변화의 위험과 기회, 영향을 투자에 고려하고 있다. 우리나라도 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(이하 “탄소중립기본법”)을 마련하여 2050년 탄소중립 비전과 2030년 국가 온실가스 감축목표를 법제화하였다. 한국형 탄소중립 100대 핵심기술을 확정하여 기술혁신 로드맵을 수립하고 탄소중립 R&D에 대한 투자도 확대하고 있다. 특히 국내 여건을 고려한 한국형 녹색분류체계(K-택소노미)에는 원자력과 천연가스가 포함되었는데, 원자력 핵심기술 연구·개발·실증이 녹색부문에, 전환 부문에 원전 신규건설과 원전 계속운전이 전환부문에 포함되었다.

이러한 상황에서 올해와 2025년은 탄소중립에 있어 중요한 시기이다. IPCC는 지구 평균기온 상승을 1.5°C 이내로 억제하기 위해서는 즉시 또는 늦어도 2025년 이전에 온실가스 배출 정점이 이루어지고 2030년까지



2 국제통화기금(2023.10), 세계경제전망(WEO).

3 한국개발연구원(2023), KDI 경제전망, 제40권 제4호, 27면.

43%가 감소해야 한다고 보고 있으며,⁴ 우리나라의 감축목표 시한인 2030년은 5년 남짓 남은 상황이다. 우리나라의 온실가스 배출량 감소는 경기 둔화로 인한 생산량 감소 등의 외부 요인에 기인하고 있으므로, 혁신적인 기술개발을 통해 보다 적극적으로 탈탄소 전환을 추진할 필요가 있다.

전략기술 확보와 디지털 전환의 중요성 확대

COVID19 확산으로 인한 물류, 사람의 이동 제한은 글로벌 공급망의 취약성을 드러내는 계기가 되었고, 미-중 간의 패권 경쟁은 무역을 넘어 기술, 외교 등의 영역으로 확대되었다. 주요국은 식량, 보건 등을 국가안보의 영역으로 인식하고, 글로벌 기술 경쟁에서 우위를 확보하기 위해 전략기술 확보를 적극적으로 추진하고 있다. 미국은 10대 인공지능, 고성능 컴퓨팅, 양자, 로봇, 바이오, 데이터·분산원장, 청정에너지 발전·저장 등을 핵심·신흥기술로 선정하여 집중적으로 투자하고 있으며, 미-중 간 반도체 관련 갈등이 확대되면서, 첨단기술에 대한 블록화 현상이 발생하고 있다. 우리나라도 국가전략기술 육성에 관한 특별법을 제정하고, 반도체·디스플레이, 이차전지, 첨단모빌리티, 차세대 원자력, 첨단 바이오, 우주항공해양, 수소, 사이버 보안, 인공지능, 차세대 통신, 첨단로봇 제조, 양자를 반드시 확보해야 하는 12대 국가전략기술로 선정하여 관리하고 있다.

한편 사회시스템 전반에서의 디지털 전환이 가속화되면서 데이터, 인공지능 등 디지털 전환을 견인할 수 있는 인프라 기술의 중요성이 확대되고 있다. 주요 기관들은 2024년 기술 트렌드 보고서를 통해 생성형 AI, 메타버스 등을 유망 기술로 선정하였고, 이 중 탄소중립과 관련해서는 가트너(Gartner)가 지속가능한 기술(sustainable technology)을,⁵ 세계경제포럼이 2023년 10대 신기술로 지속가능한 항공연료(sustainable aviation fuel)를 제시하였다⁶. 특히 현재의 기술에 디지털 트윈, AI 등의 4차 산업혁명 기술을 접목할 경우 부문별 에너지 효율화는 물론 배출량 모니터링 등이 가능해지므로 탄소중립 실현에 시너지 효과를 낼 수 있다.

주요국 동향

미국 : 혁신기술에 대한 에너지 어스샷 이니셔티브 추진 및 원자력·핵융합 에너지 분야에의 투자 증가

민주당 소속의 바이든 대통령은 전전대 대통령인 오바마 대통령의 정책 기조를 계승하고 있으며, 이러한 맥락에서 전임 대통령인 공화당 출신 트럼프 대통령과는 정반대로 기후변화 대응 문제를 정책적 우선순위로 두는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있다. 이는 비단 국제사회에서의 리더십을 확보하기 위한 목적뿐만 아니라, 국내적으로는

4 IPCC(2022), Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge: Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3>

5 <https://www.gartner.com/en/articles/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2024>

6 World Economic Forum(2023), Top 10 Emerging Technologies of 2023, pp.12~13.

기후정의(Climate Justice)에 의해 소외계층이 거주하는 지역의 노후 인프라를 개선하는 인프라 조성과 제조업 육성을 통한 경기부양책으로서의 정책적 의미를 함께 가지고 있음을 주목할 필요성이 있다. 미국일자리계획, 인프라 투자 및 일자리법(IJA), 인플레이션 감축법(IRA) 모두 일관되게 인프라 투자, R&D에 관한 내용을 담고 있는 것은 바로 이러한 정책적 배경에 기인한 것이라고 볼 수 있다. 인프라 투자 부문에서는 EV와 직결되는 교통인프라에 관한 내용이 주를 이루며, 연구개발 관련에서는 이차전지, CCS, 수소, 원자력, 해상풍력, 전기차 등이 기후변화 R&D 우선순위로서 제시되고 있다. 이외 바이든 행정부는 에너지부를 통해서, 저렴하고 신뢰할 수 있는 청정에너지 솔루션 개발을 목적으로 에너지 어스샷(Energy Earthshot) 이니셔티브를 추진하고 있다. 이는 에너지부의 과학실, ARPA-E, 에너지효율및재생에너지실(EERE), 송전실(OE), 화석에너지및탄소관리실(FECM) 등 RD&D 프로그램을 소관하는 다양한 부서가 협력하여 추진되는 임무지향형 이니셔티브라는 특색을 가지고 있으며, 각각 수소, 장주기 에너지 저장, CDR, 지열, 부유식 해상풍력, 산업용 열, 청정연료 및 제품, 건물 에너지 기술에 관한 내용으로 구성되어 있다.

이러한 정책적인 기조는 예산 배분 방향에도 그대로 반영되어 있다. 2022년 8월에 공표된 FY2024 범부처 연구개발 우선순위(Multi-Agency Research and Development Priorities for the FY 2024 Budget)에서는 7개의 우선순위영역 중 하나로 기후변화를 두고 있다. 동 내용들은 기후과학, 청정에너지와 기후기술/인프라 혁신, 기후변화 적응과 회복력, 온실가스 모니터링에 관한 내용으로 구성되어 있다. 탄소중립 R&D에서 중추적인 역할을 수행하는 에너지부(DOE) 예산이 전반적으로 증가⁷하고 있는 점을 비추어 볼 때, 이러한 정책적 우선순위는 실제 예산 배분 과정에 고스란히 반영되어 있는 것으로 해석된다. 과학실의 FY2024 예산요구액은 대체적으로 전년 대비 소폭 증액된 수준을 유지하고 있으나, 핵융합 에너지 과학 분야에만큼은 2023년 제정예산(763백만 달러) 대비 약 32.5% 증액된 1,011백만 달러를 요구하고 있는 점이 특색이다. EERE에서는 바이오에너지, 첨단제조, 건축, 지열 등의 R&D투자 규모가 크게 증가한 편인데, 이는 2022~2023년 청정연료, 건물에너지, 건축, 지열 부문에 해당하는 에너지 어스샷이 출범한 영향인 것으로 해석된다. 이외 원자력 및 원자력 안전 부서 예산이 전반적으로 증가하는 경향을 보이고 있으며, 송전(Electricity Delivery)실 및 청정에너지실증실 관련 예산요구액의 규모가 매우 큰 특성을 보이고 있다. 바이든 행정부는 미국의 오랜 골칫거리였던 노후된 송전 인프라를 개선하기 위한 노력을 지속적으로 추진해오고 있기 때문에 해당 내용이 R&D 예산안 상으로도 반영되어 있는 것으로 해석된다.

<표 1> DOE 내 RD&D 관련 부서별 예산 배분 현황('22~'24)

에너지부 예산배분 내역(단위 : 백만)	2022	2023	2024
	제정예산	제정예산	예산요구액
과학실(Office of Science)			
과학실 전체 예산	7,475	8,100	8,800
첨단과학컴퓨팅연구(ASCR)	1,035	1,068	1,126
기초에너지과학(BES)	2,308	2,534	2,693
생물 및 환경연구(BER)	815	909	932
융합에너지과학(FES)	713	763	1,011
고에너지물리(HEP)	1,078	1,166	1,226
핵물리학	728	805	811

7 단, 2024년 1월 15일 현재, 아직 미국의 FY2024 세출예산법(Appropriation Act)가 통과되지 않았기에, 본문에서는 FY2024년 예산액은 정부예산요구액을 기준으로 작성하였다.

에너지부 예산배분 내역(단위 : 백만)	2022	2023	2024
	제정예산	제정예산	예산요구액
에너지효율및재생에너지실(EERE)			
에너지효율및재생에너지실 전체 예산	3,200	17,998	5,940
바이오에너지기술	262	280	323
수소연료전지	158	170	163
태양에너지	290	318	379
풍력	114	132	385
첨단제조	416	450	636
건축기술	308	450	636
지열기술	110	118	216
차량기술	420	455	527
수력	162	179	230
원자력에너지실(Office of Nuclear Energy)			
원자력에너지실 전체 예산	1,655	2,329	2,682
연료 사이클 R&D	-	-	-
원자력 활성화 기술	117	96	96
원자로 컨셉 RD&D	257	259	98
첨단원자로 실증	320	422	423
화석에너지 및 탄소관리실(Office of Fossil Energy and Carbon Management)			
화석에너지및탄소관리실 전체 예산	825	1,253	1,473
탄소관리기술(23~) / CCUS	274	365	374
기타 첨단 석탄화력 R&D	195	95	90
천연가스 기술	110	26	20
비전통적 기술	-	-	-
국가핵안전청(National Nuclear Security Administration)			
RDT&E 국가안전청 전체 예산	2,843	2,950	3,197
RDT&E: 과학평가	769	855	1,044
RDT&E: 공학	342	389	440
RDT&E: 관성봉입점화(IC Fusion Ignition)	580	630	602
RDT&E: 첨단시뮬레이션 및 컴퓨팅	747	790	782
RDT&E: 제조	293	286	328
RDT&E: 학술프로그램	112	112	152
비확산 및 포렌식 R&D	729	768	728
핵 비확산 R&D	-	-	-
해군로(Naval Reactors)	-	-	-
기타 프로그램 기구			
ARPA-E	450	470	650
사이버 안보 및 대응	186	265	330
송전	277	797	2,118
청정에너지실증실(Clean Energy Demonstrations)			
	20	89	2,678

* Total Budget은 하위 프로그램의 총합이 아닌, 해당 부서 전체 예산을 의미함

** 당초 EERE의 FY2023 최종 제정예산(Enacted Budget)은 3,460백만 달러였으나, IIJA/IRA 등을 통해 경정예산(Supplemental Budget)이 배정된 결과로 추정됨. 세부적인 내용은 CRS(2023) 참조⁸

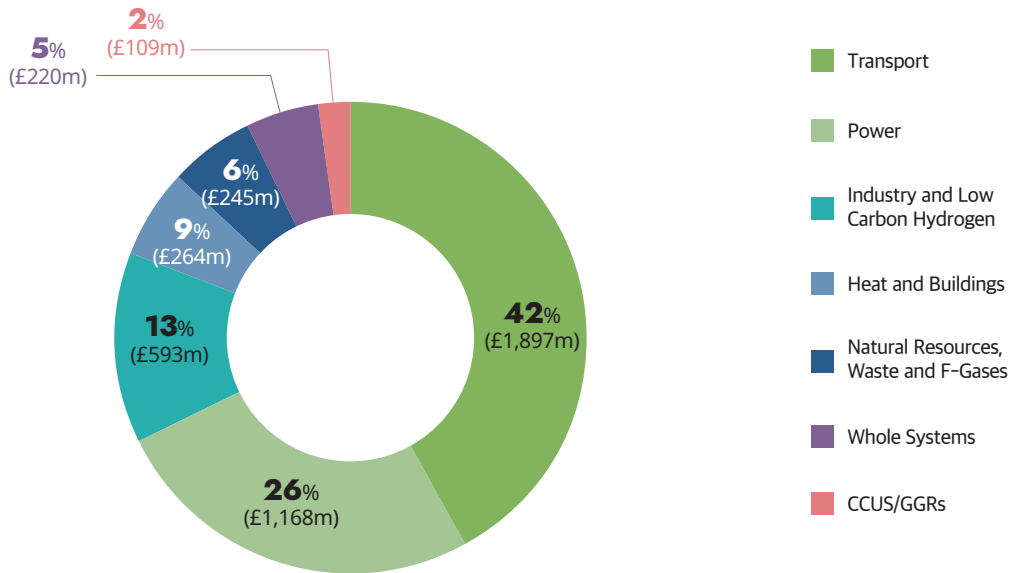
※ 전미과학진흥협회(AAAS) 홈페이지 내용을 기반으로 저자 정리

8 CRS(2023), "DOE Office of Energy Efficiency and Renewable Energy FY2023 Appropriations", IN FOCUS, Updated January 27, 2023(Retrieved from : <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF12236/5>)

영국⁹ : 넷제로 연구혁신 프레임워크를 추진하기 위한 이행계획(Delivery Plan) 수립

영국은 2008년 세계 최초로 온실가스 감축 목표에 법적 구속력을 부여하는 기후변화법(Climate Change Act)를 제정하는 등 온실가스 감축 분야 정책을 선도하는 국가이다. 이후에도 영국은 지속적으로 온실가스 감축을 위한 제도적 기반을 강화하기 위한 노력을 경주하였으며, 2019년에는 기후변화법을 개정하여 주요국 중 최초로 2050년 탄소중립 목표를 명문화하였다. 영국은 COVID19로 인한 경제침체 회복을 위한 주요 수단으로서 녹색 회복(Green Recovery)를 주목하였기 때문에, 법령 정비 이외에도 산업 탈탄소화, 수소 등 다양한 부문에 관한 세부 전략을 마련하여 추진하고 있다. 기술 확보에도 관심을 기울여 ‘넷제로 전략(Net Zero Strategy(2021))’과 거의 같은 시점에 ‘넷제로 연구혁신 프레임워크(Net Zero Research and Innovation Framework(2021))’을 발표하였으며, 2023년에는 이를 실행하기 위한 추진전략인 ‘넷제로 연구혁신 이행계획(Net Zero Research and Innovation Delivery Plan)’을 발표하였다. 동 계획을 통해 영국은 넷제로 관련 R&D에 2022~2025년간 약 45억 파운드 규모를 투자할 것임을 천명하였으며, 이 중 수송 부문에 전체의 42%에 해당하는 약 19억 파운드의 재원을 집중할 예정이다. 다음으로 많은 비중을 차지하고 있는 발전 부문은 세부 영역으로 재생에너지, 원자력, 바이오에너지를 두고 있으며, 재생에너지는 풍력 개발에 관한 내용과 차세대 태양광/조력(Tidal energy) 및 기타 초기단계의 재생에너지 기술개발 및 실증에 관한 내용을 전략과제로 두고 있다. 원자력 부문에 대해서는 소형 모듈형 원자로(SMR) 및 첨단 모듈형 원자로(AMR) 개발에 관한 내용이 포함되어 있으며 이외 2050년 이후를 고려한 핵융합 에너지 연구개발, 원전 해체/폐기물 처리 개선에 관한 내용을 포함하고 있다.

[그림 1] 2022~2025년 영국의 넷제로 R&D 분야 부문별 투자



출처 : UKRI(2023)

9 영국의 과학예산(Science Budget)은 정부는 정책의 방향성만 제시하고 세부적인 배분은 연구자에게 맡기는 Haldane Principle 하에 배분되고 있음. 따라서, 정부 예산안 상으로는 분야별 투자현황을 파악하기 어려우므로 영국에서는 정부 예산안에 관한 내용을 넷제로 연구혁신 이행계획으로 같음함.

독일 : 제8차 에너지연구프로그램의 임무지향성 강화

독일은 2050 탄소중립 목표를 명문화한 기후보호법에 대한 위헌 판결을 계기로, 탄소중립 달성 시점을 2045년으로 앞당기고 그 사이 기간의 감축 수단을 구체적으로 제시하는 방향으로 탄소중립 정책 전반을 강화하고 있다. 러시아-우크라이나 전쟁은 러시아의 LNG에 의존하여 탈석탄 정책을 추진하던 독일에 직접적인 타격을 입혀 에너지 안보의 중요성을 재부각시킨 사건으로, 특정 국가에 대한 의존을 할 필요가 없는 에너지원인 녹색수소 개발에 관한 정책적 추진동기가 강화되는 결과를 가져왔다. 독일의 대표적인 탄소중립 R&D 정책은 '에너지연구프로그램(Energieforschungsprogramm)'으로, 2023년 10월에 제8차 에너지연구프로그램(8.Energieforschungsprogramm)¹⁰이 발표되었다. 동 계획은 종전 계획과는 달리 처음으로 개정된 기후보호법의 탄소중립 달성 시점을 임무(Mission)에 반영하고 이를 실현하기 위한 프로그램 목표를 제시하고 있다. 다른 국가와 달리 임무 및 프로그램 목표 등의 수준에서 원자력에 대한 언급은 나타나지 않고 있으며, 수소를 별도의 분야로서 취급하고 있는 점이 특색이다.

<표 2> 제8차 에너지연구프로그램의 임무별 목표

임무	프로그램 목표
에너지시스템 2045 (Mission Energiesystem2045)	1. 2045년 에너지시스템 목표 비전과 전환 경로의 발전 2. 에너지시스템의 전반적인 효율 향상 3. 에너지시스템의 회복탄력성 및 공급 안정성 보장 4. 에너지시스템의 지속가능성 향상 5. 경제적이고 균형 잡힌 혁신 형성
열 전환 2045 (Mission Warmewende2045)	1. 기후중립적이면서 지속가능한 건물 냉/난방 수요 충족 2. 산업/상업 냉난방 공급의 탈화석연료 달성 및 효율 향상 3. 열 및 냉기를 효율적으로 분배하고 저장할 수 있는 강력한 인프라 설계 4. 냉난방 부문의 유연한 잠재력을 활용
전력 전환 2045 (Mission Stromwende2045)	1. 효율적이고 지속가능한 재생에너지 발전 2. 안정적 전력공급을 위한 안정적 전력망 확보 3. 효율적인 전기사용 및 저장 4. 분산형 전력 생산자와 소비자의 효율적 네트워킹
수소 2030 (Mission Wasserstoff2030)	1. 친환경 수소 및 파생제품의 효율적 생산 2. 탄력적인 수소 인프라 개발 및 테스트 3. 친환경 수소를 전기로 유연하게 전환하는 공정의 효율 제고 4. 효율적인 수소 기술로 산업공정 전환
이전 (Mission Transfer)	1. 에너지전환을 위한 자격 있는 전문가의 활용성 확대 2. 에너지 연구의 혁신 및 포트폴리오 관리 통합 3. 신속한 프로세스 및 방식 활용 4. 기술혁신 잠재력 활용 및 가치사슬 유지/확장 5. 개방형 과학원칙을 통해 에너지 연구의 수용성 및 재사용 기회 확대

출처 : BMWK(2023)

10 BMWK(2023). 8. Energieforschungsprogramm zur angewandten Energieforschung -Forschungsmissionen für die Energiewende.

독일의 탄소중립 R&D의 기초원천연구단계 연구개발지원을 담당하는 연방교육연구부의 예산안¹¹을 살펴보면, '지속가능성, 기후, 에너지(Nachhaltigkeit, Klima, Energie)'에서 관련 예산이 주로 다뤄지고 있다. 동 부문은 2023년 755,115천 유로에서 851,033천 유로로 약 12.7% 증액된 것으로 나타나 있다. 세부 부문별로 보면 대다수의 분야가 다소 감액되었으나, 에너지기술 및 효율적인 에너지 활용 부문과 지속가능성/기후/에너지 투자 부문에 관한 내용이 증액이 된 점을 알 수 있다.

<표 3> 지속가능성, 기후, 에너지 부문 세부 비목별 증감현황

(단위 : 천 유로)

영역	2023	2024	전년 대비 증감률
바이오경제	100,855	100,976	0.10%
글로벌 변화와 기후연구	100,774	97,173	-3.60%
에너지기술 및 효율적인 에너지 활용 : 녹색수소 연구개발 프로젝트	226,415	235,600	4.10%
자원, 순환경제, 지질 연구	113,968	112,721	-1.10%
지속가능성을 위한 사회과학	43,168	42,742	-1.00%
해양, 해안 및 극지 연구	59,039	58,775	-0.40%
지속가능성, 기후, 에너지 투자	110,896	203,046	83.10%
지속가능성, 기후, 에너지 부문 총합계	755,115	851,033	12.70%

출처 : Bundesregierung(2023) 상의 내용을 저자 정리

보다 세부적인 항목에 관한 예산 배분은 명칭(Bezeichnung)을 통해 파악 가능하나, 당해연도 예산만을 표기하고 있어 전년 대비 증감률을 파악하기 어렵다. 그러나, 일단 2024년 투자규모 중 탄소중립 R&D와 밀접한 부문을 발췌해보면, 바이오경제 분야에서는 KMU-Innovativ 사업 및 “바이오경제를 위한 새로운 제품” 이니셔티브에 관련된 ‘바이오 기반 혁신 창출’에 동 부문에서 가장 많은 48,300천 유로가 투자되고 있다. 글로벌 변화 및 기후 연구에서는 ‘탄소중립을 위한 혁신’에 약 14,000천 유로의 예산이 배정되어 있는데, 이는 KMU-Innovativ의 에너지 효율, 기반재료 산업에의 CO₂ 감축 대기로부터의 CO₂제거에 대한 투자로 명시되어 있다. 에너지 기술 및 효율적인 에너지 활용 : 녹색수소 연구개발프로젝트 부문에서는, 에너지효율/재생에너지/녹색수소 기초 연구에 동 부문 대부분의 예산인 221,600천 유로가 배정되어 있다. 동 예산은 다부처 계획인 에너지연구프로그램에서 BMBF가 담당하는 영역인 기초연구에 대한 예산 배분에 해당한다. 그 외 일부지만 원자력 안전 연구에 대한 신진연구자 지원이 14,000천 유로가 배정되어 있다. 자원/순환경제/지질연구에서는 ‘환경 및 기후보호를 위한 국제 파트너십에 14,300천 유로, 지속가능성 및 기후보호를 위한 기술에 21,300천 유로가 배정되어 있다. 환경 및 기후보호를 위한 국제 파트너십은 독일의 환경기술 기업을 육성하기 위한 내용을 골자로 한다. 그리고 동 부문에서의 ‘지속가능성 및 기후보호를 위한 기술’은 디지털 및 인공지능 기술활용, CO₂활용 등 신기술의 활용을 포괄하고 있다. 지속가능성, 기후, 에너지 투자 부문에 대한 예산은 GRACE-I 미션에 대한 BMBF 분담금(7,500천 유로),독일의 연구선 및 기타 거대연구장비의 교체 비용(195,546천 유로)에 소요되고 있는 것으로 나타나고 있다.

상용화 단계의 연구지원을 담당하고 있는 연방경제기후보호부(BMWK)의 예산요구안¹² 상의 탄소중립 R&D 내용을

11 Bundesregierung(2023), Bundeshaushaltsplan 2024 : Einzelplan 30 Bundesministerium für Bildung und Forschung.

12 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz(2023), Regierungsentwurf des Bundeshaushalts 2024 : Einzelplan 09 (BMWK),7. Juli 2023.

살펴보면, 재생에너지 및 에너지 효율 분야의 응용 단계 R&D 지원에 567백만 유로를 편성하는 내용을 포함하고 있는 점을 알 수 있다. 해당 연구지원은 원자력 에너지 기술을 제외한 에너지 전 분야를 대상(den gesamten Bereich nichtnuklearer Energietechnologien)으로 함을 명시¹³하고 있어, 연방교육연구부의 예산과 마찬가지로 원자력 이외 에너지 전환을 지원할 수 있는 기술 분야에 주력하고 있는 것으로 보인다. 이외 사업화 단계에서의 에너지 기술 실증 지원에 대한 내용도 포함하고 있는데, 해당 사항은 '에너지전환 리빙랩' 프로그램(2024년 예산 : 약 101.4백만 유로)을 통해 추진되는 형태를 취하고 있다.

프랑스 : 부문별 혁신가속화 전략 수립 및 원자력·에너지 신기술(NTE) 개발에 관한 투자 강화

현 프랑스 행정수반인 마크롱 대통령은 비록 소속 정당은 다르지만 전임 대통령인 올랑드 대통령의 각료 출신이다. 올랑드 대통령보다 자유주의적 성향이 강한 편이나, 에너지·환경 분야에서는 전임 정부의 '에너지 전환' 정책을 계승하는 입장을 취해왔다. 그러나, 최근 'France Relance', '프랑스2030' 등을 통해 프랑스가 리더십을 지속적으로 가져가야 할 분야로서 원자력을 거론하는 등 사실상 원전을 중시하는 방향으로 정책을 선회하는 움직임을 보이고 있다. 대체로 프랑스는 EU에서 독일과 공동전선을 전개하는 경향이 강함에도 불구하고, 원자력 기반 수소제조와 같이 원자력이 관련된 분야에서만큼은 독일과 첨예하게 대립하는 것도 불사¹⁴하고 있다. 이러한 경향은 연구개발 예산상으로도 투영되어 'France2030'이 발표된 이후 시점인 2021년 원자력 분야R&D에 대한 공공 투자금액은 9억 6,200만 유로로, 전년 대비 25% 이상 증가한 것으로 분석¹⁵된다. 그러나, 이러한 원자력 R&D에 대한 증액이 전임 정부가 추진했던 에너지전환의 정책적 경로에서 이탈하는 것을 의미하는 것은 아닌 것으로 해석된다. 원자력은 금액 규모 측면에서는 증가했으나 전체 에너지 R&D 투자 대비 비중은 59%에서 56%로 오히려 감소한 반면, 재생에너지/에너지효율 기술 등을 포괄하는 개념인 '에너지 신기술(Nouvelles Technologies d'énergies)' 투자는 총 에너지 R&D 투자에서 여전히 36%의 비중을 차지하고 있다. 이는 원전에 의존하는 프랑스조차 재생에너지 R&D 투자를 도외시하고 있지 않음을 시사¹⁶한다.

<표 4> 하위 분야별 에너지 신기술 R&D 국가 공공지출 현황('20~'21)

에너지 신기술	하위 분야	2020년 (A)		2021년 (B)		전년 대비 증가율(%) Ri
		단위 : 백만 유로*	단위 : 억 원**	단위 : 백만 유로*	단위 : 억 원**	
재생에너지	태양광	76	1,023	76	1,029	0
	바이오매스	65	875	62	839	(-) 4.6
	풍력	15	202	15	203	0
	해양에너지	-	0	10	135	-
	기타	32	431	24	325	(-) 25.0
	소계	188	2,531	187	2,531	(-) 0.53

13 <https://www.bmwk.de/Navigation/DE/Ministerium/Haushalt/haushalt.html>

14 Le Monde(2023), A Bruxelles, la guerre du nucléaire entre l'Allemagne et la France fait rage, Publié le 05 mars 2023 à 06h03, modifié le 06 mars 2023 à 11h42.

15 Les dépenses publiques de R&D en énergie en 2021, 2022

16 조민선·전은진·손지희(2023), 프랑스 공공 에너지 R&D 최신 투자 동향, NIGT Brief Vol. 1 No.4.

에너지 신기술	하위 분야	2020년 (A)		2021년 (B)		전년 대비 증가율(%) Ri
		단위: 백만 유로*	단위: 억 원**	단위: 백만 유로*	단위: 억 원**	
에너지 효율	수송	173	2,329	100	1,353	(-) 42.2
	건물	27	364	26	352	(-) 3.7
	산업	31	417	24	325	(-) 22.6
	기타	27	364	32	433	(+) 18.5
	소계	258	3,473	182	2,463	(-) 29.5
전력 및 저장	에너지 저장	48	646	107	1,448	(+) 122.9
	전기	30	404	28	379	(-) 6.7
	소계	78	1,050	135	1,827	(+) 73.1
수소 및 연료전지	수소	46	619	52	704	(+) 13.0
	연료전지	19	256	20	271	(+) 5.3
	소계	65	875	72	974	(+) 10.8
화석연료	CCS	31	417	38	514	(+) 22.6
	소계	31	417	38	514	(+) 22.6
에너지 신기술 총합		620	8,347	614	8,310	(-) 1.0

* 참고문헌 수치 기준 통계, ** 해당연도 평균 환율 기준

A : 2020년 공공 지출 규모, B : 2021년 공공 지출 규모, $Ri = [(B-A)/(A)] * 100$

출처: 조민선(2023)

실제, 프랑스는 'France 2030'의 부문별 전략으로서 '혁신 가속화 전략(Strategie d'acceleration pour l'innovation)'을 수립하여 기초부터 실증단계 연구개발, 인력양성 전략 등에 관한 구체적인 시책을 제시하고 있는데, 보건, 에너지/생태전환, 디지털 부문 등 3대 부문을 구성하여 총 18개 혁신가속화 전략을 제시하고 있다. 최근 이에 더해 '에너지 시스템을 위한 첨단 기술' 분야에 대한 전략을 수립하는 중이며, 이를 포함한다면 이 중 19개 혁신 가속화 전략 중 총 9개 전략이 에너지 및 생태적 전환 부문이 차지¹⁷하게 된다.

<표 5> 에너지 및 생태전환 분야 부문별 전략 수립 현황

분야	부문별 전략
에너지 및 생태적 전환	산업 탈탄소화, 생태적 전환에 기여하는 농업 장비 및 지속가능한 농업 시스템, 지속가능한 연료 및 바이오매스 기반 제품, 탈탄소 수소의 개발, 에너지 시스템을 위한 첨단 기술, 수송의 탈탄소화 및 디지털화, 재활용 재료의 재활용 및 재통합, 지속가능하고 건강에 유익한 식품, 혁신적 건물 및 지속가능한 도시

출처 : www.gouvernement.fr을 기반으로 저자 정리

17 <https://www.gouvernement.fr/strategies-d-acceleration-pour-l-innovation>

프랑스의 2024년 예산은 2023년 12월 29일, 국회의 '2024년 재정법(Le loi de finance 2024)' 제정을 통해 확정되어 있는 상태이다. 2024년 예산은 인플레이션 해결, 공공적자 감소 및 생태적 전환 투자 강화를 목표로 제시¹⁸하고 있는데, 생태적 전환 투자에는 약 400억 유로를 투자할 것을 명시하고 있다. 예산안 세부내역은 임무 단위로도 파악 가능한데, 이 중 '연구 및 고등교육' 임무 관련 예산 중 프로그램 190인 '지속가능한 수송, 개발 및 에너지 부문 내 연구(Recherche dans les domaines de l'énergie, du développement et de la mobilité durables)'가 주로 탄소중립 R&D에 해당하므로 이를 통해 간접적으로 프랑스 정부의 2024년 탄소중립 R&D 투자 경향을 유추할 수 있다. 연간 성과 목표 및 지표를 포함한 '연간 성과 계획'에서는 2024년 목표로 다음과 같이 총 6개의 목표를 제시¹⁹하고 있다 : ① 유럽 및 세계 수준의 연구기관의 수월성 향상, ② 민-관, 관-관, 민-민 협력 연구 증진, ③ 원자력 경쟁력 및 안전성 강화, ④ 에너지 신기술 및 에너지 효율 기술 개발 지원, ⑤ 원자력 및 방사능 재해에 관한 안전 보장을 위한 과학적 지식 및 전문성 창출, ⑥ 항공 부문 생태전환을 중심으로 한 민간 항공산업에서의 R&D 노력 지원이다. 동 성과계획 내 포함된 2024년 예산을 보면, 원자력/에너지 신기술 분야에 대한 전반적인 예산 증가와 함께 민간 항공 분야에서의 연구개발에 대한 투자가 확대되고 있음을 알 수 있다.

<표 6> 프로그램 190 내 세부비목별 예산

(단위: 유로)

분야	2023	2024
재해 연구	185,790,704	188,988,778
수송, 건축 및 개발계획 분야 연구	101,367,089	101,533,447
개발 및 지속가능한 개발에서의 파트너십 연구	1,551,198	1,551,198
민간 항공 분야에서의 연구개발	0	70,000,000
CEA 원자력 분야 장기 지출	780,000,000	780,000,000
원자력 분야 연구	419,785,791	558,293,105
에너지 신기술 분야 연구	187,335,096	188,216,691
총계	1,675,829,878	1,888,583,219

출처 : Ministère de la transition énergétique(2023)

일본 : 핵융합에너지의 중요성 재조명

일본이 매해 6월경 수립하고 있는 '통합혁신전략(統合イノベーション戦略)'은 기술혁신 분야 최상위 계획인 '과학기술혁신계획(科学技術・イノベーション基本計画)²⁰'의 연도별 시행계획의 성격을 가지고 있다. 동 계획에서 기술되고 있는 배경 등을 살펴보면, 수립 당시 일본 정부가 인식하는 R&D 분야와 관련된 현안 문제와 이에 대처하기 위한 전략적 조치들을 파악할 수 있다. '통합혁신전략 2023'에서는 러시아-우크라이나 전쟁의 장기화로 인한

18 Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique(2023), Présentation du projet de loi de finances pour 2024,27/09/2023.

19 Ministère de la transition énergétique(2023), Projet annuel de performances: PROGRAMME 190 Recherche dans les domaines de l'énergie, du développement et de la mobilité durables.

20 제5기까지는 과학기술기본계획이었으나, 2021년 과학기술기본법 개정을 계기로 제6기부터는 과학기술혁신기본계획으로 명칭이 변경되었다.

에너지·식량에 대한 압박, 공급망의 중요성 등 국제 환경에 대한 변화에 대한 위기감과 함께, 첨단기술확보에 대한 국가간 경쟁이 보다 격화되어 연구개발 투자 및 인재 획득 경쟁이 심화되고 있는 상황²¹에 대한 경각심이 나타나고 있다. 탄소중립에 관한 사항은 첨단과학기술의 전략적 추진에서의 '지구규모 문제의 극복을 향한 사회변혁과 비연속적 혁신의 추진' 부분에서 주로 언급되고 있으며, GX 실현을 통한 탈탄소화/에너지 수급 안정/경제성장을 동시에 달성하기 위한 탄소중립적/다양한 에너지의 활용이 제시되어 있다. 이러한 다양한 에너지의 예시로서, 에너지효율, 재생에너지, 원자력 및 핵융합을 열거하고 있다.

통합혁신전략2023 수립 이후 결정된 2024년 과학기술관계 예산을 R&D 주요부처인 문부과학성(이하 문부성)과 경제산업성(이하 경산성)을 중심으로 살펴보면, 정책적으로 탄소중립의 중요성을 강조하는 경향은 공통적으로 나타난다. 2024년 문부성의 과학기술관계 예산은 2023년 예산과 동일한 총 9,780억엔을 유지²²하고 있는 상황이며, 탄소중립 관련 예산 또한 대부분 전년 대비 동일한 수준을 유지하거나 소폭 감액되고 있다. 신규 영역 추가 및 증액된 사업, 혹은 2024년 당초 예산은 감액되었더라도 2023년 보정예산을 배정받은 사업들을 보면 아래와 같다.

<표 7> 문부과학성 2024년 예산 내 탄소중립 R&D 관련 주요 예산 배정 현황

포인트	세부분야	2023년 예산	2024년예산	비고
기초연구를 시작으로 하는 연구력의 근본적인 향상	문샷형 연구개발제도	30억엔	25억엔	신규 목표인 핵융합이 포함
탄소중립 실현에 공헌하는 연구개발	ITER/BA 등핵융합 에너지 연구개발 추진	21,295백만엔	21,299백만엔	2023년도 보정예산 249억엔 배정
	첨단 탄소중립 기술개발(ALCA-NEXT)	1,001백만엔	1,640백만엔	-
	지구환경 데이터 통합/해석 플랫폼 사업(DIAS)	379백만엔	379백만엔	2023년도 보정예산 300백만엔 별도 배정
원자력 분야 연구개발/인재육성에 관한 조치	원자력 분야에서의 혁신적 기술개발에 의한 탄소중립에의 공헌	10,743백만엔	11,156백만엔	2023년도 보정예산 15,294백만엔 별도 배정
	의료용 RI를 포함한 원자력과학기술에 관계된 다양한 연구개발 추진에 의한 혁신 창출 및 연구개발/인재육성 기반 강화	5,231억엔	5,492억엔	2023년도 보정예산 300백만엔 별도 배정
	안전을 최우선으로 하는 지속적 백엔드 대책의 착실한 추진	53,887백만엔	53,458백만엔	2023년도 보정예산 16.8억엔 별도 배정

출처 : 文部科学省(2023)

21 統合イノベーション戦略2023, 令和5年6月9日閣議決定.

22 文部科学省(2023), 令和6年度予算(案)のポイント.

최근 일본의 대표적인 혁신도약형 연구개발사업인 ‘문샷형 연구개발사업’ 내 핵융합 에너지에 초점을 둔 새로운 목표가 설정²³되었는데, 동 분야는 그간 기존 SIP 사업 등 일본을 대표하는 하향식 대형 프로젝트 사업에서는 등장하지 않았던 분야인 ‘핵융합’ 분야인 점이 특색이다. 이러한 새로운 문샷형연구개발사업 출범과 예산 배분은 러시아-우크라이나 전쟁의 장기화로 인한 에너지 공급망 위협과 2050탄소중립을 동시에 해결할 수 있는 차세대 에너지로서 핵융합 에너지의 중요성²⁴을 재조명한 ‘핵융합 에너지 혁신전략 (퓨지온에너지 · 이노베이션戰略(2023))’을 실행하기 위한 조치로 해석된다. 연구개발 예산이 동결된 상황에서도 원자력 분야의 연구개발 예산은 강화되는 추세를 보이고 있으며, 이외 탄소중립 분야 차세대 혁신기술 개발을 목적으로 하는 ALCA-NEXT와 지구환경 데이터 플랫폼을 구축하는 DIAS에 대한 연구개발 투자가 증액하고 있는 점이 특색이다.

경산성도 예산안²⁵ 상으로 과학기술진흥비 총액을 기재해놓기는 하였으나, 문부성과는 달리 연구개발사업에 관한 내용을 별도의 범주로 묶어서 설명하고 있지 않다. 세부적인 내용은 예산안 상의 투자방향별로 열거된 세부사업 명으로 R&D성 사업과 비R&D성 사업을 구분해야 하는 난점이 있다. 제1차적인 기준을 예산안에 제시된 주요 투자방향으로 둘 때, 3대 투자방향 중 ‘세계를 주도하는 첨단분야로의 투자’의 ‘GX 실현과 에너지 안정공급의 확보’의 하위 과제인 대부분의 탄소중립에 관한 R&D 사업이 포괄되어 있는 것으로 파악된다. 동 부문 예산은 2024년 총 1조 1,989억엔으로 2023년(1조 996억엔) 대비 약 9% 증액되어, 2024년 경산성 당초 예산 중 가장 많은 예산이 배정되어 있으며 증가율도 높은 편에 속한다. 전반적으로 원자력 관련 사업 예산이 큰 폭으로 늘어났으며, 항공 부문 기술혁신에 관한 투자가 강화되고 있는 추세도 함께 나타나고 있다. 이외 수소, CCUS, 이차전지 분야 R&D사업 투자가 전년 대비 증가하고 있다. 관련된 세부 내역은 아래 표와 같다.

<표 8> 경제산업성 2024년 예산 내 탄소중립 R&D 관련 주요 사항

사업명	2023년 예산	2024년 예산	비고
고온가스로 실증로 개발사업	48억엔	274억엔	-
고속로실증로개발사업	76억엔	289억엔	-
경쟁적 수소 서플라이체인 구축을 향한 기술개발사업	80억엔	86억엔	-
지속가능한 항공연료(SAF)의 제조/공급체계 구축지원사업	-	276억엔	신규
이차전지 등 제품의 지속가능성 향상을 위한 기반정비/실증사업	-	17억엔	신규
항공기혁신 추진시스템 개발사업	-	13억엔	신규
CCUS 연구개발/실증관련사업	80억엔	87억엔	

출처 : 經濟産業省(2023)을 기반으로 저자 정리

23 総合科学技術・イノベーション会議(2023), ムーンショット型研究開発制度が目指すべき「ムーンショット目標」について, 令和5年12月26日.

24 統合イノベーション戦略推進会議(2023), 퓨지온에너지 · 이노베이션戰略, 令和5年4月14日.

25 經濟産業省(2023), 經濟産業省関係令和5年度補正予算・令和6年度当初予算案の概要, 2024年1月10日更新本.

결론

탄소중립 선언 확산 등 전 세계적으로 온실가스 감축을 근본적으로 줄이기 위한 노력을 기울이게 된 점은 역사적으로도 의미가 있는 일이다. 또한 기후 문제가 단순히 도덕적, 환경적 차원을 넘어 실질적으로 경제적 문제로서 제도권에 등장했다는 점은 더욱 의미가 깊다. 뉴 노멀 시대와 COVID19의 여파로 인한 극복전략으로서 녹색회복 (Green Recovery)을 선택한 것뿐만 아니라 앞으로의 무역장벽과 경제규제로서도 안정적 궤도에 올랐기 때문에, 앞으로도 지속적으로 정책적 대응을 강화하고 기술확보를 위한 노력을 기울일 필요성이 있다. 그러나, 경기침체와 공급망 위기는 국가재정에 압박을 가하고 있으며, 이러한 상황에서는 R&D투자 역시 무제한적으로 증액할 수는 없는 것도 사실이다. 그러나, 실제 기술선도국의 탄소중립 분야 R&D 투자 움직임을 살펴보면 정책적으로 기후변화 대응 문제의 중요성을 강조하는 것은 공통된 상황이며, 2024년 예산안 상으로도 전반적으로 전체적인 금액은 증액되는 경향이 나타나고 있다. 미국과 독일, 프랑스는 전반적인 증액, 일본은 기초원천단계는 전년 수준 유지/상용화 단계를 소관하는 경제산업성 소관 사업의 대폭 증액하는 움직임을 보이고 있다.

기술 분야별 투자 경향을 살펴보면, 대체적으로 최근 중요성이 부각되고 왔던 이차전지, 수소, CCS, 원자력 분야에 대한 투자 확대 경향이 공통적으로 나타나고 있는 점을 알 수 있다. 특히 원자력 부문을 살펴보면 원자로뿐만 아니라 원자력 안전 및 사용 후 핵연료 처리 등에 대한 연구개발 지원도 강화되는 경향을 보이고 있다. 또한, 핵융합 에너지의 투자 강화 역시 두드러지는 점도 주목할 필요성이 있다. 핵융합은 여전히 상용화까지 상당한 기간이 걸릴 것으로 예상되는 분야였으며, 장기-지속 투자를 요구하는 분야로서 간주되었다. 그러나, 최근 러시아-우크라이나 전쟁으로 인한 에너지 안보 문제에 대한 경각심으로 인해 핵융합 에너지는 에너지 안보 문제 해결과 발전 부문의 저탄소화를 동시에 달성할 수 있는 잠재력이 있는 에너지원으로 다시금 주목받고 있는 상황이다. 일본 등 일부 국가에서 최근 핵융합 에너지 정책 및 투자를 강화하는 움직임이 나타나고 있는 것 또한 이러한 시각의 발로이다.

또한, 항공 산업은 민간 부문에서 크게 발달한 분야이기는 하나, 최근 CORSIA, ICAO 등을 통한 항공부문의 온실가스 배출 규제 강화 움직임에 발맞춰 정부 R&D 차원에서도 민간 항공산업을 지원하는 움직임이 강화되고 있다. 지속가능한 연료(SAF), 수소 등 대체연료 개발에 관한 지원 강화 역시 이러한 움직임의 일환으로 해석된다. 산업 생태계가 전환되는 변곡점을 맞이한 시점에서, 정부가 R&D 측면에서도 적극적인 역할을 수행하는 경향인 것으로 해석된다.

기후탄소 이슈레포트

기후 온난화 줄무늬를 아시나요?

2023년의 한반도, 관측 사상 가장 뜨거웠다

김진두 YTN 부국장

기후 온난화 줄무늬를 아시나요?

기후 온난화 줄무늬(Warming Stripes)라는 개념이 있다. 2018년 영국 레딩 대학교의 기후 과학자 에드 호킨스(Ed Hawkins) 박사가 온난화 정도를 줄무늬로 시각화한 개념을 개발한 것이다. 시간 흐름에 따른 전 지구 온도의 변화를 시각화한 것으로 온난화 정도를 누구나 직관적으로 알 수 있도록 만든 강력한 도구이다. 특정 위치 또는 지역의 온도 변화를 일련의 수직 줄무늬로 표시하는데, 각 줄무늬는 연도를 나타낸다. 각 줄무늬의 색상은 해당 연도의 온도를 나타내며 빨간색은 더 따뜻한 온도를, 파란색은 더 차가운 온도를 나타낸다. 온난화 줄무늬는 1901년부터 2000년대의 평균 기온을 기준으로 하며, 왼쪽에서 오른쪽으로 시간이 지나면서 붉은색 줄무늬가 급격하게 증가하는 형태를 보인다. 언뜻 보면 디자인적으로 아름다운 작품처럼 보이지만, 파란 줄과 빨간 줄로 이뤄진 이미지는 기후 위기에 대한 경고의 메시지를 담고 있다.

그런데 에드 호킨스 박사가 줄무늬에 새로운 막대를 추가한다고 밝혔다. 2023년이 역대 가장 뜨거웠던 해였기에 이전에 없었던 짙은 빨간색을 넣었다는 것이다. 호킨스 박사는 “2023년은 예측했던 온도 변화 규모의 한계를 벗어났다며 지금은 절망이 아닌 행동이 필요한 때”라고 말하고 “2024년은 대화를 더 빠른 행동으로 바꾸는 한 해가 돼야 한다”고 촉구했다.[그림 1]

[그림 1] 지구온난화 줄무늬



출처: 영국 대기과학자 에드 호킨스 박사 SNS

그렇다면 2023년 지구는 도대체 얼마나 뜨거웠을까?

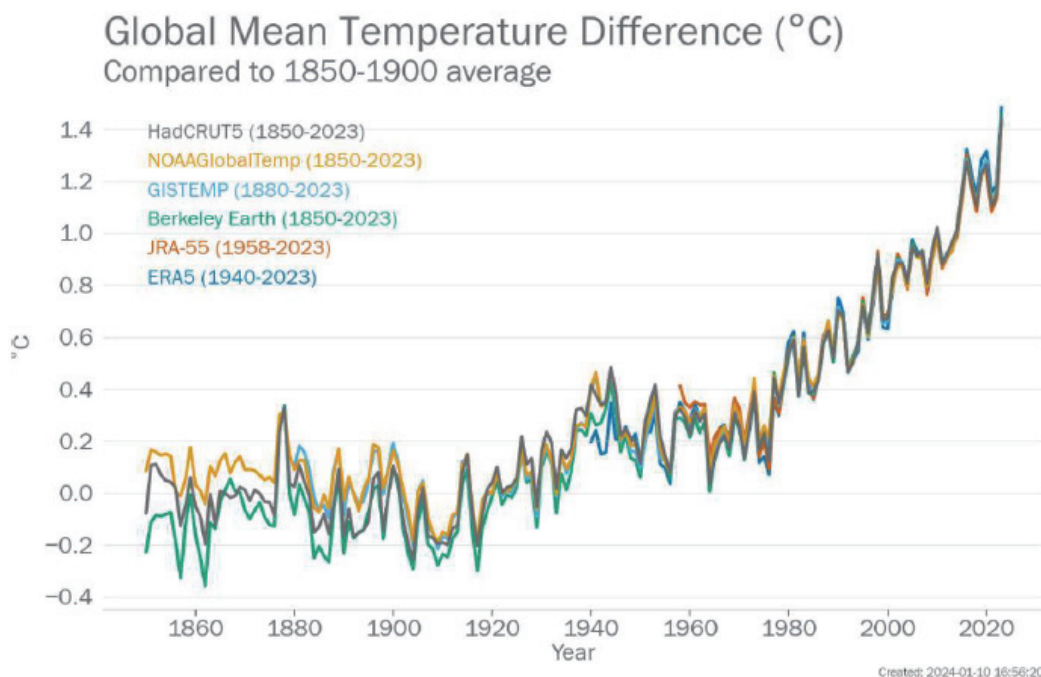
세계기상기구, WMO는 2023년이 다른 해와 비교하였을 때 엄청난 차이로, 기록상 가장 따뜻한 해임을 공식적으로 확인했다.

WMO가 통합한 6개 주요 국제 데이터 세트에 따르면, 2023년 전 지구 연평균 온도는 산업화 이전 수준(1850~1900년) 대비 $1.45^{\circ}\text{C} \pm 0.12^{\circ}\text{C}$ 상승한 것으로 나타났다.[그림 2]

지구촌이 유례없이 뜨거워지면서 남극 해빙 면적은 2월(여름, 최저), 9월(겨울, 최고) 모두에서 기록상 가장 작았고, 극한 더위가 건강 및 산불을 악화시켰으며 극한 강우, 홍수 등은 인명피해와 막대한 경제적 손실을 입힌 것으로 집계됐다. WMO는 온도 상승의 원인으로 2023년 중반까지 라니냐로 인한 냉각화에서 엘니뇨로 인한 온난화가 반영되었고, 이를 감안할 때 2024년은 더 따뜻할 것으로 예상한다고 덧붙였다.

파리협정에 명시된 온도 상승 마지노선 1.5°C 가 무너질 수 있다는 것으로 앞으로 더 기상재난과 기후 위기는 더 빨라지고 그 여파는 더욱 혹독해질 수 있다는 것을 지시한다.

[그림 2] WMO가 통합한 6개 주요 국제 데이터 세트의 전지구 기온 변화



출처: WMO

2023년의 한반도, 관측 사상 가장 뜨거웠다.

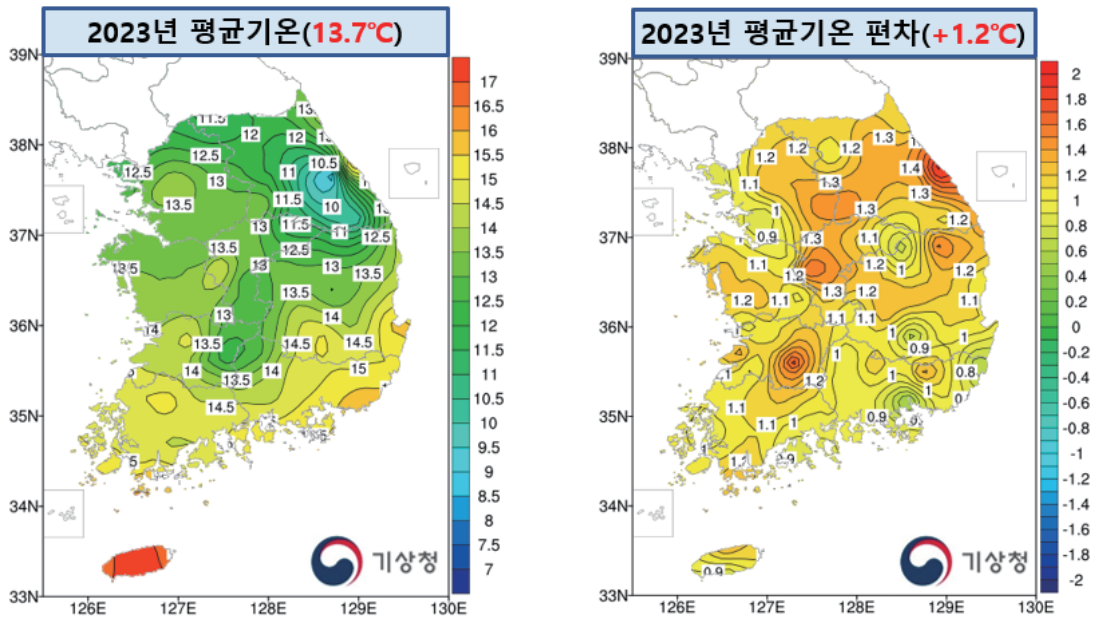
가속화하고 있는 온난화의 여파는 어김없이 한반도에도 영향을 줬다. 기상청이 발표한 2023년 기후 특성 보고서에 따르면 지난해 우리나라의 연평균기온은 13.7도였다. 전국 기상관측망이 구축된 1973년 이후 51년 만에 가장 높은 기록이다. 종전 1위였던 2016년보다도 0.3도 높았다.[그림 3]

조금 더 세부적으로 살펴보면 폭염일(일 최고기온이 33도 이상인 날)과 열대야일(밤 최저기온이 25도 이상인 날)이 14.2일과 8.2일로, 평년보다 각각 3.2일과 1.6일 많았다. 기상청은 “북태평양을 비롯해 우리나라 동쪽에 고기압성 흐름이 발달하면서 따뜻한 남풍이 불 때가 잦았고, 이에 기온이 높은 날이 많았다”고 설명했다.

내륙만이 아니라 바다도 뜨거워졌다. 지난해 한국 해역의 해수면 온도는 평균 17.5도로, 최근 10년(2014~2023년) 평균치보다 0.4도 높고, 10년 사이 2번째로 높았다.[그림 4]

이렇게 뜨거워진 바다와 육지는 집중호우 빈도를 높였다. 지난해 연 강수량은 1746.0mm로 1973년 이후 3위에 해당했으며, 평년 연 강수량(1193.2~1444.0mm)과 비교하면 약 32% 많았다. 비가 온 날은

[그림 3] 역사상 가장 뜨거웠던 한반도 기온

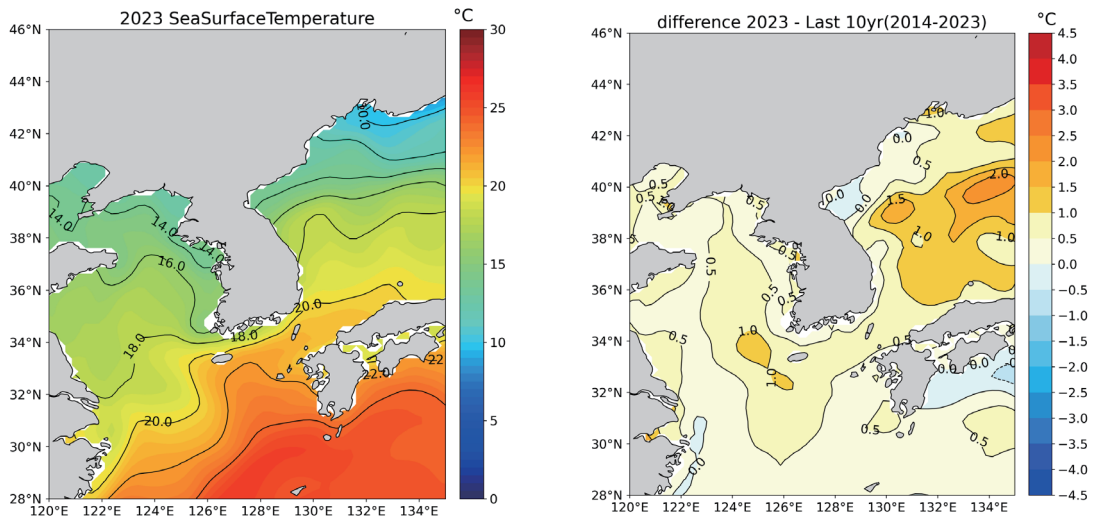


출처: 기상청

108.2일로, 평년(105.6일)과 큰 차이가 없었지만, 일 평균 강수 강도는 16.1mm로 평년(12.6mm)보다 3.5mm 많은 역대 1위였다.[그림 5]

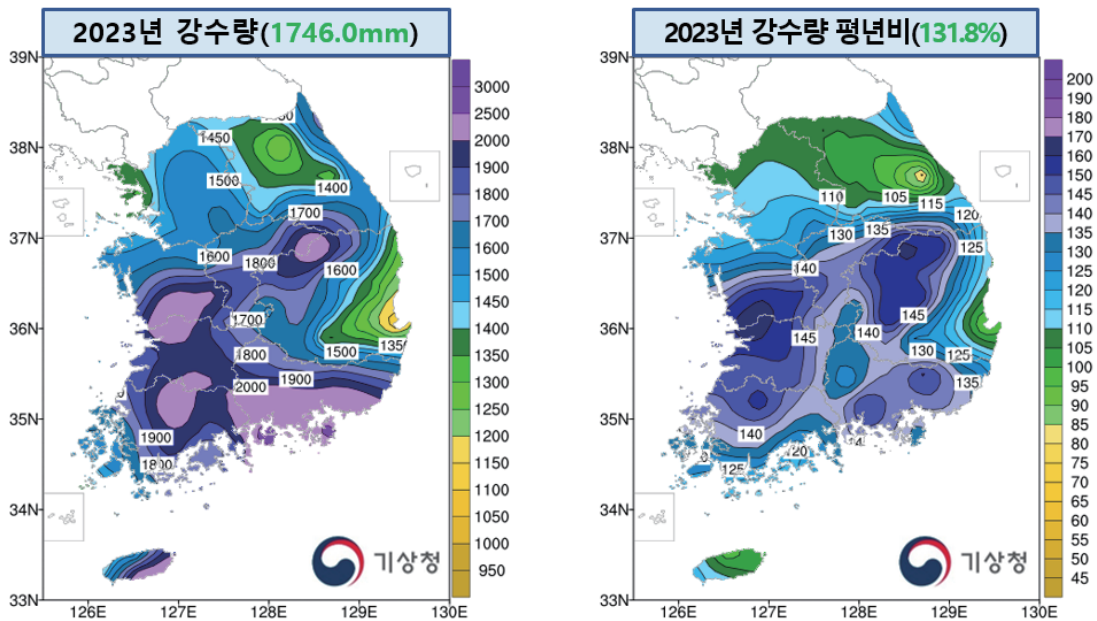
이런 심각성을 반영하듯 기상청은 이번 보고서의 제목을 ‘지구 온난화 심화, 전 지구에 이어 우리나라도 가장 더운 해로 기록’으로 붙이며 온난화의 위험성을 경고했다.

[그림 4] 우리나라 주변 2023년 해수면 온도(좌) 및 편차(우) 분포도



출처 : NOAA OISSTv2 (Optimum Interpolation Sea Surface Temperature version2)

[그림 5] 2023년 연 강수량(좌) 및 평년비 분포도(우)



출처: 기상청