

국가미래전략원 탄소중립 클러스터 해외 주요국 탄소중립 R&D 정책 동향 및 시사점

연구책임자

구윤모(서울대학교 공학전문대학원)

공동연구원

이찬우(서울대학교 국가미래전략원 책임연구원)



서울대학교 국가미래전략원

해외 주요국 탄소중립

R&D 정책 동향 및 시사점

본 보고서는 국가미래전략원의 탄소중립 클러스터에서 수행된 연구 과제의 결과물이다. 기후변화는 인류의 지속 가능한 발전을 위협하는 심각한 문제이며, 탄소중립 사회로의 전환은 더 이상 미룰 수 없는 시대적 과제이다. 이러한 전환을 성공적으로 이끌기 위해서는 혁신적인 기술 개발과 이를 뒷받침하는 정책 지원이 필수적이며, 특히 탄소중립 기술 R&D는 온실가스 감축뿐만 아니라 미래 산업 경쟁력 확보를 위한 핵심 동력이다.

본 연구는 미국, EU, 일본의 탄소중립 R&D 정책 동향을 심층적으로 분석하고, 각국의 투자 예산의 자원 조달 방식, 예산 배분 원칙, R&D 우선순위 설정 기준 등을 비교·검토한다. 이를 통해 각국의 정책이 지향하는 목표, 추진 전략, 투자 규모 등을 종합적으로 파악하고, 우리나라 탄소중립 R&D 정책 수립에 필요한 구체적이고 실질적인 정책적 시사점을 제시하는 것을 목표로 한다.

본 보고서가 급변하는 국제 정세 속에서 우리나라의 탄소중립 목표 달성을 위한 정책 수립에 기여하고, 관련 분야 연구 및 산업 발전에 도움이 될 수 있기를 기대한다.

목차

총괄 요약	04
서론	07
주요국 탄소중립 R&D 정책 개요	09
주요국 탄소중립 R&D 정책 목표 및 예산 현황	11
I. EU 탄소중립 R&D 정책목표 및 예산현황	11
II. 미국 탄소중립 R&D 정책목표 및 예산현황	21
III. 일본 탄소중립 R&D 정책목표 및 예산현황	31
정책 제언	40
부록: 전문가 세미나	42
I. 트럼프 2기 행정부의 기후변화·에너지 정책 변화 전망	42
II. 탄소중립 분야 글로벌 R&D 정책 동향	45
III. EU 국가의 탄소중립 정책 동향	48

총괄 요약

기후변화 대응이 국가 안보와 산업 경쟁력의 핵심 요소로 부상하면서, 주요국들은 탄소중립 달성을 위한 기술혁신 역량 강화에 국가 차원의 정책 역량을 집중하고 있다. 특히 EU, 미국, 일본은 탄소중립을 위한 R&D를 단일 부처 차원의 정책이 아닌, 국가 전략, 예산 기획, 기술 생태계 설계까지 통합한 중장기 이니셔티브로 추진하고 있으며, 이를 통해 국제 기술표준 선점과 시장 리더십 강화에도 나서고 있다.

I 주요국 탄소중립 R&D 정책 동향 및 시사점

1. EU: '유럽그린딜'과 '호라이즌 유럽'을 중심으로 한 구조적 R&D 전략

EU는 '유럽그린딜(European Green Deal)'을 통해 2050년 탄소중립을 명문화하고, 이를 실현하기 위한 R&D 전략으로 '호라이즌 유럽(Horizon Europe)'과 '에너지기술전략계획(SET Plan)' 등을 운영하고 있다.

예산구조: 총 950억 유로의 '호라이즌 유럽' 중 약 35%를 기후변화 대응 관련 프로젝트에 배정한다.

정책특징: '임무지향형(Mission-Oriented)' 과제 중심으로 구성되어, 단일 기술이 아닌 복합 문제 해결형 연구에 중점한다.

우선 분야: 재생에너지, 에너지저장, 수소, CCUS, 수송 부문 등 10대 중점분야를 중심으로 연구개발 역량을 집중한다.

예산체계: '녹색예산(Green Budgeting)'이라는 별도 회계 구분을 통해 기후 분야 투자 가시성과 책임성 제고한다.

EU는 다국간 협력과 개방형 혁신 생태계를 적극 활용하며, 정책-기술 간 연계를 강화하고 있다. 특히 유럽이사회와 EU 집행위원회 차원에서 기술개발의 방향성과 성과를 주기적으로 평가·조정하는 체계를 갖추고 있다.

2. 미국: 전략적 이니셔티브와 연방 예산을 연계한 기술 투자 체계

미국은 탄소중립 기술 개발을 국가 전략의 핵심 축으로 설정하고, 다양한 연방기관과 정책수단을 활용해 기술 혁신과 시장 확산을 동시에 추진하고 있다. 에너지부(DOE), 국립과학재단(NSF), 항공우주국(NASA), 해양대기청(NOAA) 등 주요 연방기관이 분야별로 탄소중립 기술 R&D를 수행하며, 백악관 과학기술정책실(OSTP)과 대통령 직속 국가과학기술위원회(NSTC)가 이들 기관 간 전략 조정과 정책 연계를 총괄한다.

재정 지원 체계는 기술 성숙도(Technology Readiness Levels, TRLs)에 따라 차별화되어 있으며, 기초연구에는 연구보조금, 중간 단계에는 실증펀드(demonstration funds), 상용화 단계에는 세액공제(예: 45Q, 45V), 대출보증(LPO) 등 맞춤형 수단이 적용된다. 특히 연방정부는 대규모 민간 투자를 유도할 수 있는 시장 기반 설계에 집중하고 있으며, 세액공제나 구매보증과 같은 인센티브 정책을 통해 초기 시장 형성과 수요 창출을 적극 지원하고 있다.

이와 더불어 연방 차원의 R&D 재원과 주정부 예산을 매칭하는 공동재원 전략도 활발히 운영되고 있으며, 이를 통해 기술개발뿐 아니라 지역 기반의 상용화 생태계 조성까지 연계하는 구조적 접근이 이루어지고 있다. 이러한 다층적 정책 설계는 미국이 탄소중립 기술을 넘어 에너지 시스템 전환의 혁신 생태계를 구축하는 데 중장기적 방향성을 가지고 접근하고 있음을 보여준다.

3. 일본: 과학기술기본계획 기반의 임무지향형 R&D와 정책 거버넌스 고도화

일본은 '제6기 과학기술·이노베이션 기본계획'을 통해 탄소중립을 국가 전략과제로 명확히 설정하고, 정부 주도형 R&D 구조로의 전환을 가속화하고 있다.

조정체계: 종합과학기술·이노베이션회의(CSTI)가 전체 R&D 과제를 평가·조정하고, 내각부와 재무성, 각 부처가 연계하여 집행한다.

GX(그린 트랜스포메이션) 전략: 향후 10년간 탄소중립 기술개발과 사회 전환을 동시에 추진하는 종합 계획이다.

대표 이니셔티브:

그린이노베이션 펀드: 총 2조 엔 규모로, 기업과 연구기관의 공동 과제를 중점 지원한다.

탄소중립 실현을 위한 연구개발 플랫폼 구축: 수소, 암모니아, CCUS, 소재 기술 등 우선 분야 지정한다.

특징: 산업계와 연계한 실증 연구 강화, 민간 매칭 펀드 및 세제 인센티브 확대, 지역자치단체와 연계한 정책 실험 추진한다.

일본은 중앙정부의 전략조정 하에 지방정부, 산업계, 대학·연구기관 간의 유기적 연계를 통해 기술개발뿐 아니라 **사회적 수용성 확보 및 시스템 전환**을 동시에 달성하고자 한다. 연방정부와 주정부 간 공동재원 매칭 전략이 활발히 활용된다.

II 종합 시사점

1. 탄소중립 기술은 국가 임무로 구조화해야 한다

주요국은 R&D를 단순한 기술개발 차원이 아니라, 사회 전체의 전환을 유도하는 임무지향형 구조(Mission-Oriented Structure)로 설계하고 있다.

2. 기술성숙도별 맞춤형 재정지원 체계 마련이 핵심

단순 연구보조금뿐만 아니라, 기술 단계에 따라 실증, 상용화, 시장 형성을 위한 다양한 수단(펀드, 세제, 보증 등)을 연계적으로 활용한다.

3. 과학기술-재정-정책 간 전략적 연계와 거버넌스 체계 구축이 중요

고위 전략기구(백악관 OSTP, 일본 CSTI 등)를 통해 국가 전체의 방향성을 조율하고, 다양한 부처 간의 협업체계를 구축하고 있다.

4. 민간과의 공동 투자구조 및 시장 연계 메커니즘 필요

기술개발의 시장 확산을 위해 공공재원-민간재원-정책수단을 유기적으로 결합하는 구조 설계가 중요하다.

서론

I 연구의 필요성

기후변화는 더 이상 미래의 문제가 아닌, 현재 인류가 직면한 가장 심각하고 시급한 도전 과제이다. 전 세계적으로 심화되는 이상 기후 현상, 해수면 상승, 생태계 파괴 등은 기후변화의 심각성을 여실히 보여주며, 탄소중립 사회로의 전환은 선택이 아닌 필수가 되었다. 탄소중립은 인간 활동에 의한 온실가스 배출량을 최대한 감축하고, 남은 온실가스는 흡수 또는 제거하여 순 배출량을 '0'으로 만드는 것을 의미한다.

이러한 탄소중립 목표를 달성하기 위해서는 에너지 시스템, 산업 구조, 교통, 도시 등 사회 전반의 대대적인 변화가 요구된다. 이러한 변화는 단기간에 이루어질 수 없으며, 지속적인 기술 혁신과 이를 뒷받침하는 정책 지원이 필수적이다. 특히, 탄소중립 기술 R&D는 온실가스 저감뿐만 아니라 장기적인 산업 경쟁력 확보를 위한 핵심 전략으로, 주요국들은 R&D 투자 확대를 통해 기술 혁신과 지속 가능한 성장을 도모하고 있다.

미국, EU, 일본은 탄소중립 기술 개발 및 정책 추진에 있어 선도적인 역할을 수행하며, 막대한 예산을 투입하여 관련 R&D를 지원하고 있다. 각국은 자국의 산업 구조, 에너지 시스템, 기술 수준 등을 고려하여 차별화된 R&D 전략을 추진하고 있으며, 이러한 국가별 R&D 전략의 방향성과 차별성을 이해하는 것은 매우 중요하다.

특히, 2025년 1월 트럼프 2기 행정부 출범으로 미국의 탄소중립 정책에 큰 변화가 예상된다. 트럼프 행정부는 기후변화 대응에 소극적인 입장을 보여왔으며, 트럼프 2기 행정부 출범 시 파리 기후 협약 재탈퇴, 청정 에너지 정책 축소 등 기후변화 정책의 후퇴 가능성이 제기되고 있다. 따라서

현시점에서 주요국의 R&D 정책 동향과 변화를 분석하고, 우리나라의 탄소중립 R&D 전략 수립에 필요한 시사점을 도출하는 것은 매우 시급하고 중요한 과제이다.

II 연구개발 목표 및 내용

본 연구는 미국, EU, 일본의 탄소중립 R&D 정책 동향을 심층적으로 분석하고, 각국의 투자 예산의 자원, 배분 원칙, R&D 우선순위 설정 기준 등을 비교·검토함으로써 국내 탄소중립 R&D 전략 수립에 필요한 정책적 시사점을 제시하는 것을 목표로 한다.

III 연구개발의 추진 전략 및 방법

본 연구는 다음과 같은 추진 전략 및 방법을 통해 수행되었다.

1) 탄소중립 R&D의 글로벌 현황 및 주요 기술 트렌드를 분석한다. 이는 국제 에너지 기구(IEA), 국제 재생 에너지 기구(IRENA) 등 국제 기구의 보고서, 학술 논문, 기술 동향 보고서 등을 종합적으로 분석하여 수행된다.

2) 주요국별 탄소중립 R&D 정책을 분석한다.

EU: EU(영국, 프랑스, 독일 등)의 탄소중립 기술 R&D 프로그램 및 관련 정책을 조사하고, R&D 방향성(기후 법제화 및 지속 가능한 산업 전환), R&D 투자 우선순위 원칙(EU 기후법 목표에 따른 연구 방향 설정), 주요 투자 영역(수소 경제, 디지털 기반 온실가스 감축, 순환 경제 기술)을 분석한다.

미국: 미국의 탄소중립 기술 R&D 프로그램 및 관련 정책을 조사하고, R&D 방향성(제조업 경쟁력 강화 및 에너지 시스템 혁신), R&D 투자 우선순위 원칙(비용 절감, 기술 상용화 중심의 민관 협력), 주요 투자 영역(에너지 어스샷, 청정 에너지 솔루션, CCUS, NASA 기반 온실가스 감시 기술 등)을 분석한다.

일본: 일본의 탄소중립 기술 R&D 프로그램 및 관련 정책을 조사하고, R&D 방향성(GX(Green Transformation) 전략을 통한 산업 구조 전환), R&D 투자 우선순위 원칙(14대 중점 산업 중심 투자), 주요 투자 영역(수소, CCUS 등)을 분석한다.

주요국 탄소중립 R&D 정책 개요

I EU 탄소중립 R&D 정책 개요

EU는 유럽그린딜(European Green Deal), 에너지연합(Energy Union), 에너지기술전략계획(SET Plan) 등의 전략을 통해 기후 변화 대응을 위한 연구·혁신을 정책의 핵심 축으로 삼고 있다.

이러한 전략 아래에서 대표적인 연구혁신 프로그램인 '호라이즌 유럽(Horizon Europe)'은 총 950억 유로의 예산 중 약 35%를 기후변화 대응 관련 프로젝트에 배정하고 있으며, 임무지향형(Mission-Oriented) 과제를 중심으로 기후·생태 전환의 가속화를 추구하고 있다.

EU의 예산 체계는 다년도예산(Multiannual Financial Framework, MFF)과 연간 예산으로 구성되며, 이 중 기후 및 환경 관련 지출은 '녹색예산(Green Budgeting)'으로 별도 분류되어 체계적으로 관리된다.

또한, 에너지기술전략계획은 재생에너지, 에너지저장, CCUS, 수송 등 10대 중점 분야를 제시함으로써, EU 전역의 연구 역량을 하나로 모아 집중시키고 있다.

이와 같은 통합적 접근은 EU가 기후위기에 대응함에 있어 기술 개발, 제도 설계, 재정 운용 전반에 걸쳐 일관된 정책 프레임워크를 유지하고 있음을 보여준다.

II 미국 탄소중립 R&D 정책 개요

미국의 탄소중립 관련 연구개발(R&D)은 연방정부 차원에서 다양한 부처와 기관이 분담하여 수행하고 있으며, 에너지부(DOE)를 중심으로 국립과학재단(NSF), 항공우주국(NASA), 해양대기청(NOAA) 등이 각각의 기술 분야에 따라 역할을 맡고 있다. 이러한 다기관 체계는 백악관 산하 과학기술정책실(OSTP)과 대통령 직속의 국가과학기술위원회(NSTC)를 통해 전략적으로 조정되며, 부처 간 중복 방지 및 시너지 제고를 위한 통합적 정책 관리를 뒷받침하고 있다.

예산 집행은 의회가 승인하는 세출법에 따른 직접 지출과 더불어, PTC-ITC-45Q-45V와 같은 세액공제를 포함한 조세지출 방식이 병행되어 활용되고 있다. 또한 기술 성숙도에 따라 기초 단계에는 연구보조금, 중간단계에는 실증펀드(demonstration fund), 상용화 단계에는 세액공제나 대출보증(LPO) 등 다양한 재정수단이 계층적으로 적용되어 R&D 전 주기에 걸친 지원 체계를 구성하고 있다.

III 일본 탄소중립 R&D 정책 개요

일본은 2050년 탄소중립 실현을 국가적 목표로 명확히 설정하고, 이를 실현하기 위한 정책적·재정적 기반을 빠르게 구축해 왔다. 2020년 '2050 탄소중립 선언' 이후, 경제산업성을 중심으로 '녹색성장전략(Green Growth Strategy)'과 'GX(그린 트랜스포메이션) 추진전략'을 수립하여, 기술혁신을 통한 에너지·산업 구조 전환을 본격화하고 있다.

일본의 탄소중립 R&D 정책은 크게 임무지향형 R&D 구조로 개편된 '제6기 과학기술·혁신기본계획'을 토대로, 주요 전략사업에 범부처가 연계하는 방식으로 추진된다. 예산 편성은 내각부 산하 종합과학기술·이노베이션회의(CSTI)의 평가와 조정을 거쳐, 재무성의 예산 확정 후 각 부처별로 집행된다. 특히, 탄소중립 분야는 '그린이노베이션 기금(2조 엔, 2020~2030)'과 환경성의 '탄소중립 기술 R&D 프로그램(연 51억 엔)' 등 대규모 재정지원이 집중되고 있다.

주요국 탄소중립 R&D 정책목표 및 예산현황

I EU 탄소중립 R&D 정책목표 및 예산현황

1. EU의 일반 R&D 정책목표

EU의 연구 및 기술 개발 정책(EU Policy for research and technological development)은 연구자, 지식 및 기술의 자유로운 교류를 통해 연합의 과학·기술 기반을 강화하는 것을 목표로 하며, 궁극적으로는 산업의 글로벌 경쟁력을 제고하는 데 그 목적이 있다.¹⁾

연구 및 혁신에 관한 정책과 프로그램은 EU 집행위원회(European Commission)의 정책 과제에 따라 수립되며, 집행위원회 산하의 연구혁신국(Directorate-General for Research and Innovation)이 이를 주도적으로 추진한다.

EU 집행위원회가 5년 단위로 설정하는 우선 정책 과제 중에서도 녹색 전환은 지속적으로 핵심 의제로 다루어지고 있으며, 그 중요성 또한 꾸준히 강조되고 있다.

2024~2029년 기간에 설정된 7개 우선 정책 과제는 1) 지속가능한 번영과 경쟁력, 2) 국방 및 안보 강화, 3) 시민과 사회에 대한 지원, 4) 식량 안보, 수자원 및 자연 보호를 통한 삶의 질 유지, 5) 민주주의와 유럽적 가치 보호, 6) 글로벌 파트너십 강화, 7) 미래를 위한 준비이다.²⁾

1) Policy for research and technological development, 2024, European Parliament(<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/66/policy-for-research-and-technological-development>, 2025년 3월 21일 접속)

2) Setting the European political priorities for 2024-2029, 2024, European Council Briefing

이에 앞서, 2019~2024년 기간에는 1) 유럽그린딜(European Green Deal), 2) 디지털 전환과 적응, 3) 경제적 번영과 사회적 공정, 4) 글로벌 리더십 강화, 5) 유럽의 시민과 가치 보호, 6) 민주주의 수호가 주요 정책 과제로 설정되었다.³⁾

특히, 유럽의 기후변화 대응 핵심 정책인 유럽그린딜에서는 연구 및 혁신이 세 가지 측면에서 핵심적인 역할을 수행할 것으로 기대되고 있다. 첫째, 녹색 전환 방향 설정 및 가속화, 둘째, 기술 도입 및 실증과 리스크 관리, 셋째, 시민 참여의 확대이다.⁴⁾ 이러한 맥락에서 EU는 유럽그린딜 하에서 총 73개 연구·혁신 프로젝트에 10억 유로 이상의 예산을 지원한 바 있다.⁵⁾

2. EU의 주요 탄소중립 R&D 정책 및 전략

EU는 이러한 일반 R&D 정책 목표를 바탕으로, 탄소중립을 실현하기 위한 구체적인 정책과 전략을 다각도로 전개하고 있다.

2015년 출범한 에너지연합(Energy Union) 전략은 EU 소비자에게 지속가능한 에너지를 합리적인 가격에 안정적으로 공급하는 것을 목표로 하고 있으며, 아래 5개 분야로 분류된다.⁶⁾

- 안보, 연대 및 신뢰: 에너지 공급원을 다양화하고, EU 회원국 간의 연대와 협력을 통해 에너지 안보를 확보하는 것을 중점으로 한다.
- 역내 에너지 시장 통합: 적절한 인프라를 구축함으로써 기술적·규제적 장벽 없이 역내에서 자유로운 에너지의 흐름을 보장하는 데 목적이 있다.
- 에너지 효율성: 에너지 효율성의 제고를 통해 에너지 수입 의존도를 줄이고 온실가스 배출을 저감하며, 동시에 경제 성장을 촉진하는 전략이다.

3) Commission's priorities 2019-2024, European Commission Website (https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024_en, 2025년 4월 1일 접속)

4) Research and innovation for the European Green Deal, European Commission Website (https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-research-and-innovation/environment-and-climate/european-green-deal_en, 2025년 4월 1일 접속)

5) Green Deal Projects Support Office Website (<https://projects.research-and-innovation.ec.europa.eu/en/strategy/strategy-2020-2024/environment-and-climate/european-green-deal/green-deal-projects-support>, 2025년 4월 1일 접속)

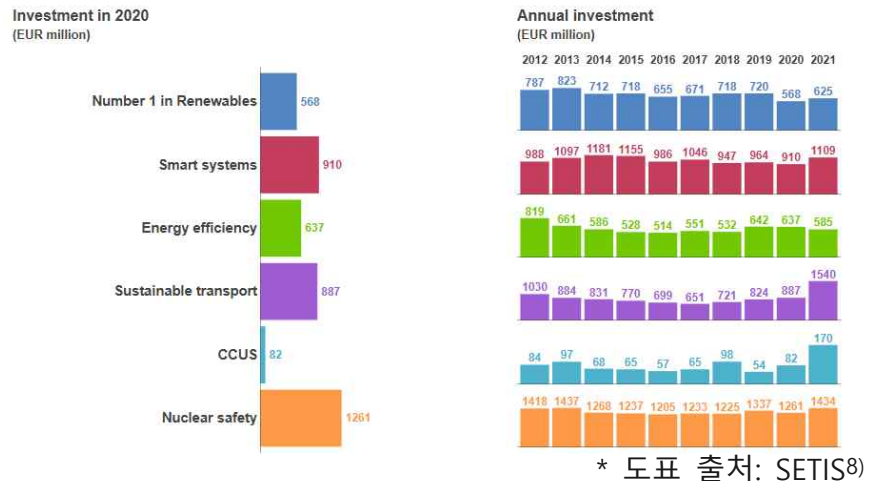
6) Energy Union, European Commission Website (https://energy.ec.europa.eu/strategy/energy-union_en, 2025년 4월 1일 접속)

- 기후변화 대응: 파리협정의 이행을 목표로 하며, 재생에너지 분야에서 EU의 글로벌 리더십을 유지하는 데 중점을 둔다.
- 연구, 혁신 및 경쟁력: 에너지 전환과 경쟁력 강화를 위한 저탄소 및 청정에너지 기술의 연구와 혁신을 우선적으로 지원한다.

특히, 에너지연합 전략의 다섯 번째 분과인 ‘연구·혁신’ 분야에서는 다음과 같은 구체적 목표들이 설정되어 있다.⁷⁾

- 재생에너지 분야의 글로벌 리더로 자리매김
- 소비자 중심의 스마트 에너지 시스템 구축
- 에너지 효율적인 시스템 개발 및 강화
- 지속가능한 수송을 위한 연료 선택지 다양화
- CCUS 기술 적극 도입
- 원자력 안전 제고

[그림 1. EU 공공부문 에너지 기술 연구·혁신 투자액]
-Energy Union 목표별 분류-



이러한 에너지연합 전략의 연구·혁신 축은 2007년 발표된 에너지기술전략계획(Strategic Energy Technology Plan, SET Plan)을 통해 보다 구체화되고 있다.

SET Plan은 유럽그린딜, REPowerEU, 탄소중립산업법(Net-Zero Industry Act, NZIA) 등에서 제시된 탈탄소화 전략을 구현하기 위한 통일된 연구·혁신 접근 방식을 모색하고 있으며, 에너지연합 전략 내에서도 핵심적인 연구·혁신 수단으로 기능하고 있다.⁹⁾

7) SET Plan Progress Report 2023, 2023, Joint Research Centre, European Commission

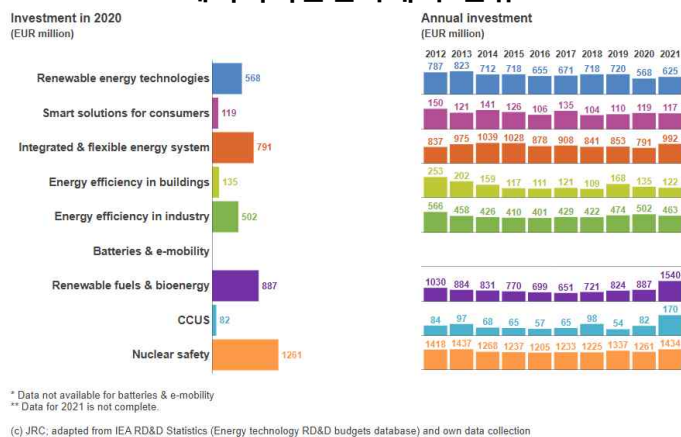
8) SETIS research and innovation data, European Commission Website (https://setis.ec.europa.eu/publications-and-documents/setis-research-and-innovation-data_en, 2025년 4월 1일 접속)

ET Plan의 주요 목표는 효율적이면서도 가격 경쟁력을 갖춘 저탄소 기술의 개발 및 도입을 가속화함으로써 EU의 에너지 안보를 강화하는 데 있다.¹⁰⁾

이를 위해 SET Plan은 EU 에너지 부문의 연구·혁신을 다음과 같은 10대 중점 주제로 구성하고 있다.¹¹⁾

- 에너지 시스템에 재생에너지 통합
- 에너지 기술 비용 절감
- 에너지 소비자를 위한 신규 기술 및 서비스
- 에너지 시스템의 회복력 및 안정성 강화
- 지속가능건축을 위한 신소재 및 신기술
- 산업 부문 에너지 효율성 제고
- 배터리 및 모빌리티 전동화 부문 글로벌 경쟁력 확보
- 재생 연료 및 바이오에너지
- 탄소 포집 및 저장 기술(CCS)
- 원자력 안전

[그림 2. EU 공공부문 에너지 기술 연구·혁신 투자액]
-에너지기술전략계획 분류-



* 그림 출처: SETIS¹²⁾

9) Strategic Energy Technology Plan, European Commission Website (https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/strategic-energy-technology-plan_en, 2025년 4월 1일 접속)

10) SET Plan Progress Report 2024, 2024, Joint Research Centre, European Commission

11) Strategic Energy Technology Plan, European Commission Website ([https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/strategic-energy-technology-plan_en#:~:text=The%20European%20Strategic%20Energy%20Technology%20Plan%20\(SET%20Plan\)%20is%20a,fast%20and%20cost%2Dcompetitive%20way](https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/strategic-energy-technology-plan_en#:~:text=The%20European%20Strategic%20Energy%20Technology%20Plan%20(SET%20Plan)%20is%20a,fast%20and%20cost%2Dcompetitive%20way), 2025년 4월 1일 접속)

아울러, EU는 기후변화 대응을 위한 연구·혁신 정책에서 다자 주의적 접근을 특히 강조하고 있다.¹²⁾ 기후위기는 단일 국가나 지역의 노력만으로는 해결이 불가능하다는 인식 아래, EU는 주요 경제권들과의 효과적인 협력과 공동 대응의 필요성을 지속적으로 역설하고 있다.

또한, EU는 탄소배출을 단지 역내 생산 기반에서 발생하는 직접 배출에 한정하지 않고, 타국에서 생산된 제품이 EU 역내로 수입되는 과정에서 발생하는 소비 기반 탄소배출량에도 주목하고 있다.

이러한 포괄적 접근은 EU의 탄소중립 목표 달성을 위한 연구·혁신 전략이 국경을 넘어선 협력과 글로벌 책임을 전제로 하고 있음을 보여준다.

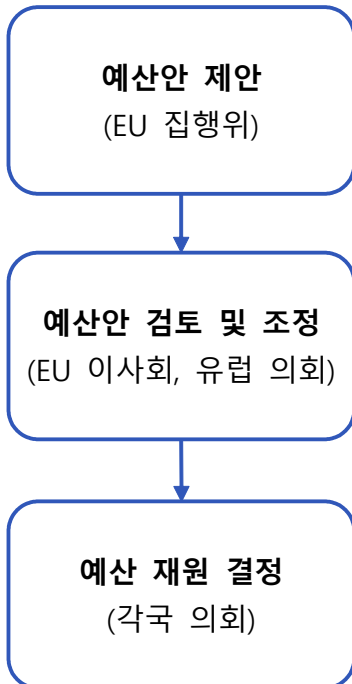
3. EU의 R&D 예산 및 지출

이러한 정책 추진의 재정적 기반으로, EU의 예산 편성은 다년도예산(Multiannual Financial Framework, MFF)의 채택과 연간 예산의 승인이라는 두 가지 주요 절차로 구성되어 있다.¹⁴⁾

다년도예산(MFF)¹⁵⁾은 왼쪽 도식과 같이 EU 예산의 안정적이고 예측 가능한 집행을 보장하기 위한 제도로, 7년 단위로 설정되며 모든 정책 분야를 포괄한다. 이는 EU의 장기적인 정책 우선순위에 따라 자원을 배분함으로써 전략적 목표를 체계적으로 실현하는 데 목적이 있다.

다년도예산은 단지 총액의 약정(commitments) 및 지출(payments)에 대한 한도 설정에 그치지 않고, 주제별로도 약정과 지출에 대한 상한선을 설정함으로써 예산의 사용을 제약하는 기능을 한다. 이러한 제약은 정책 집행의 예측 가능성과 재정 건전성을 확보하는 데 기여하지만, 동시에 유연성의 제한으로 작용할 수 있다. 이에 따라, 재난이나 긴급 상황이 발생할 경우에는 정책 우선순위 조정을 통해 예외적으로 유연한 지출이 허용된다.

[그림 3. MFF 편성 절차]



12) SETIS research and innovation data (https://setis.ec.europa.eu/publications-and-documents/setis-research-and-innovation-data_en, 2025년 4월 1일 접속)

13) Science, research and innovation performance of the EU 2024, 2024, European Commission

14) How the EU budget is adopted, European Union Website (https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/budget/how-eu-budget-adopted_en, 2025년 3월 21일 접속)

15) ibid.

예산 편성 과정에서는 EU 집행위원회(European Commission)가 예산 초안을 작성하여 제출하면, EU 이사회(Council of the European Union)와 유럽의회(European Parliament)가 이를 검토하고 조정한 후 최종적으로 승인하는 구조를 갖는다.

예산안의 최종 승인에는 EU 이사회의 만장일치 동의와 유럽의회의 동시 승인이 모두 필요하며, 예산 재원의 확보를 위해서는 각 회원국의 비준, 즉 각국 의회의 승인이 요구된다.

연간 예산¹⁶⁾은 오른쪽 도식과 같이 다년도예산(MFF)에서 설정된 한도 내에서 각 부문별 세부 예산을 포함하여 편성된다.

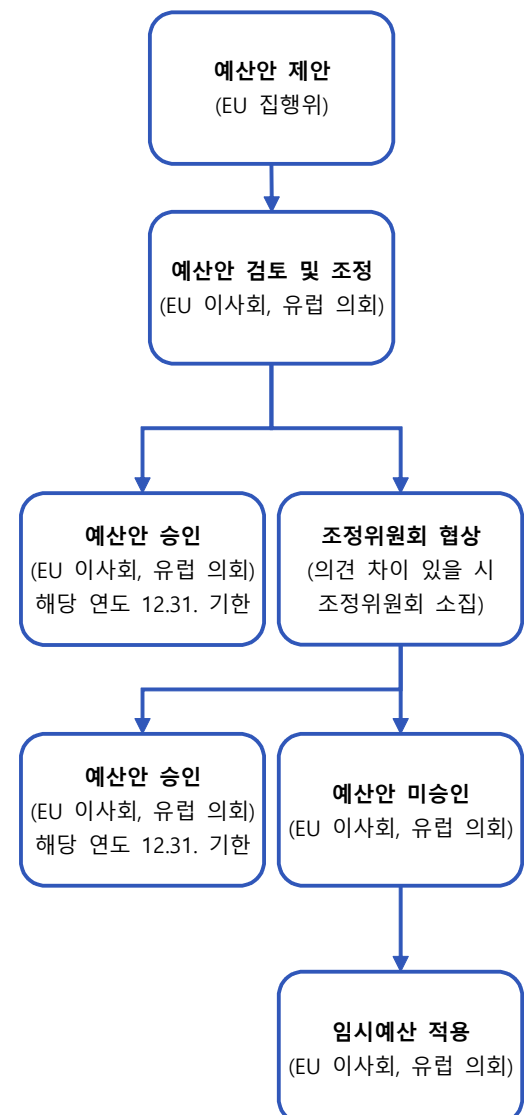
이 절차 또한 다년도예산과 동일하게, EU 집행위원회(European Commission)가 예산 초안을 작성한 후 이를 EU 이사회(Council of the European Union)와 유럽의회(European Parliament)에 제출하면, 양 기관이 이를 각각 검토하고 조정하여 최종적으로 승인하는 구조를 따른다.

만약 예산안을 둘러싸고 EU 이사회와 유럽의회 간에 입장 차이가 발생할 경우, 조정위원회(Conciliation Committee)가 소집된다. 이 위원회는 21일간의 협상 기간 동안 양측의 의견을 조율해 최종 예산안을 도출하게 되며, 조정이 성공할 경우 양 기관은 해당 수정 예산안을 승인하게 된다.

만일 연간 예산이 법정 기한인 해당 연도 12월 31일까지 확정되지 않을 경우, 이전 해의 예산이 임시 예산으로 자동 적용되며, 이때는 매달 이전 연도 예산의 1/12에 해당하는 금액이 각 항목별로 집행된다.

이러한 체계적이고 단계적인 예산 절차는 EU 정책의 재정적 일관성과 지속가능성을 보장하며, 특히 탄소중립과 같은 중장기 과제의 안정적인 재정 운용에 있어 중요한 기반을 제공하고 있다.

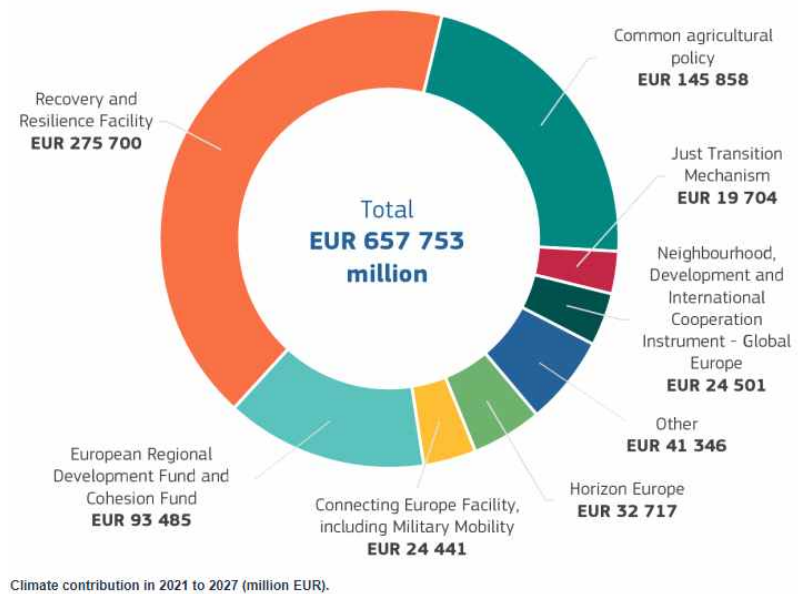
[그림 4. 연간예산 편성 절차]



16) ibid.

4. EU의 탄소중립 예산의 원칙과 비중

[그림 5. 2021~2027년 EU 예산 중 기후변화 관련 약정액]



* 도표 출처: EU 공식 홈페이지¹⁷⁾

** 집계 대상 예산: 다년도예산 및 NextGenerationEU

EU 예산은 기본적으로 각 회원국의 예산을 보완하는 역할을 하지만, 기후변화 대응의 경우에는 연합 차원의 다자주의적 접근이 강조된다. 이는 개별 국가의 대응만으로는 한계가 있는 기후 위기에 대해, 집단적인 자원 활용과 규모의 경제를 통해 효과적인 해결책을 모색하겠다는 취지이다.¹⁸⁾

2020년 EU 특별정상회의에서는 2021~27년 기간의 다년도예산(MFF)과 경제회복기금(NextGenerationEU, NGEU)을 합쳐 전체 예산의 30%를 기후변화 대응에 할당하기로 결의하였다.¹⁹⁾²⁰⁾

해당 기간 동안 EU 예산 중 기후변화 관련 지출은 총 6,580억 유로로 전망되며, 전체 예산의 약 34.3% 수준이다. 이는 당

17) Climate mainstreaming, European Commission Website (https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/eu-budget/performance-and-reporting/horizontal-priorities/green-budgeting/climate-mainstreaming_en, 2025년 3월 22일 접속)

18) *ibid.*

19) EU 2021~27년 지출예산(MFF) 및 경제회복기금(NGEU)의 주요 내용과 평가, 2020, KIEP 세계경제포커스

20) Green budgeting, European Commission Website (https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/eu-budget/performance-and-reporting/horizontal-priorities/green-budgeting_en, 2025년 3월 22일 접속)

초 목표였던 30%를 상회하는 수치이다.²¹⁾

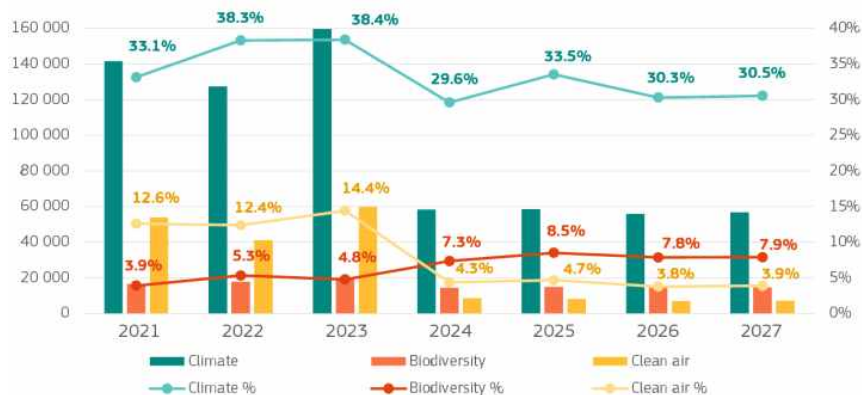
이러한 예산 집행은 1) 2050 탄소 중립 목표, 2) 2030 기후 목표, 3) 파리 협약과 방향성이 일치해야 하며, 4) 기후 및 환경에 해를 끼치지 않는다(do no harm)는 원칙에 부합해야 한다는 기준 아래 이루어진다.²²⁾

EU 집행위원회는 예산의 투명한 집행을 위해, 다년도예산 중 기후변화 및 환경 목표 달성에 기여하는 기금을 녹색예산(Green Budgeting)으로 구분하여 표시하고 있다.²³⁾ 이 녹색예산은 크게 네 가지 영역으로 구성되며, 각각 기후 대응, 기후 적응, 생물종다양성 보호, 대기질 개선을 포함한다.

다만, EU 배출권거래제(EU Emissions Trading System, EU ETS)를 통해 발생한 수익으로 운영되는 혁신기금(Innovation Fund), 현대화기금(Modernisation Fund), 사회기후기금(Social Climate Fund) 등은 다년도예산 틀 밖에서 운용되기 때문에 녹색예산에 공식적으로 포함되지는 않는다. 그러나 이들 기금 역시 녹색예산의 목표 달성에 실질적으로 기여하고 있다.

[그림 6. 2021~2027년 녹색예산 약정 금액 및 비율]

(단위: 백만 유로)



* 도표 출처: EU 공식 홈페이지²⁴⁾

21) Climate mainstreaming, European Commission Website (https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/eu-budget/performance-and-reporting/horizontal-priorities/green-budgeting/climate-mainstreaming_en, 2025년 3월 22일 접속)

22) The EU long-term budget, European Council Website (<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/eu-long-term-budget/>, 2025년 3월 22일 접속)

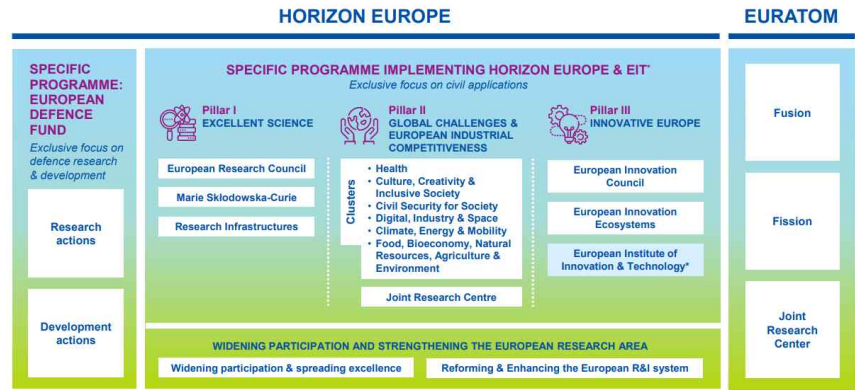
23) Green budgeting, European Commission Website (https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/eu-budget/performance-and-reporting/horizontal-priorities/green-budgeting_en, 2025년 3월 22일 접속)

24) Green budgeting, European Commission Website

5. EU의 주요 연구개발 프로그램 -

호라이즌 유럽(Horizon Europe)

[그림 7. 호라이즌 유럽 개요]



* The European Institute of Innovation & Technology (EIT) is not part of the Specific Programme

* 도표 출처: EU 공식 홈페이지²⁵⁾

이처럼 EU는 녹색예산과 다년도예산 체계를 통해 기후 목표를 재정적으로 뒷받침하는 한편, 녹색 전환의 핵심 동력으로서 연구와 혁신의 역할 또한 적극적으로 강조하고 있다.

이를 대표적으로 보여주는 사례가 바로 호라이즌 유럽(Horizon Europe)과 혁신기금(Innovation Fund)이다. 이 두 프로그램은 다양한 연구·혁신 프로젝트 및 파트너십을 통해 기후 기술 개발과 녹색 전환을 실질적으로 뒷받침하고 있다.

호라이즌 유럽은 2021~2027년 동안 총 950억 유로의 예산이 편성된 EU 역사상 가장 야심 찬 연구·혁신 프레임워크 프로그램이며, 이 중 약 320억 유로(전체의 약 35%)가 기후변화 관련 프로젝트에 배정되었다.²⁶⁾

호라이즌 유럽은 임무(mission) 지향적 성격을 가지고 있으며, 2021~27년 기간 동안 다섯 가지 임무를 중심으로 운영되

(https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/eu-budget/performance-and-reporting/horizontal-priorities/green-budgeting_en, 2025년 3월 22일 접속)

25) Horizon Europe, European Commission Website (https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en, 2025년 4월 1일 접속)

26) Research and innovation for the European Green Deal, European Commission Website (https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-research-and-innovation/environment-and-climate/european-green-deal_en, 2025년 4월 1일 접속)

고 있다. 이들 임무는 1) 기후변화 적응, 2) 기후 중립 및 스마트시티, 3) 암 극복, 4) 건강한 토양, 5) 해양 및 수역 복원이다.²⁷⁾

이러한 임무들은 별도로 구성된 제1기 임무위원회(Mission Board)에 의해 제안 및 구체화되었으며, 해당 위원회는 2019년에 발족되어 2021년까지 활동을 수행하였다.²⁸⁾ 1기 임무위원회는 EU 집행위원회에서 선임한 임무별 대표(Mission Manager)와 집행위 산하 연구혁신국(Directorate-General for Research and Innovation) 소속 부대표(Deputy Manager)로 구성되었다.

2022년부터는 제2기 임무위원회가 새롭게 출범하여 대중 인식 제고 및 임무 이행 계획 수립에 대한 자문 역할을 맡고 있다. 각 임무위원회는 공개 모집(Open Call)을 통해 선발된 총 15명의 전문가로 구성되었으며, 위원장(Chair)을 포함해 각 분야의 전문성과 다양성을 확보하고 있다.

EU 집행위원회는 임무의 설계, 실행, 모니터링 및 평가 전 과정에서 시민들과 지속적으로 소통하였으며, 특히 설계 초기 단계에서는 고위급 전문가 집단의 제언을 적극 반영함으로써 정책의 수용성과 실행력을 제고하고자 하였다.

27) Horizon Europe, European Commission Website (https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en, 2025년 4월 1일 접속)

28) EU Missions in Horizon Europe, European Commission Website (https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe_en, 2025년 4월 1일 접속)

II 미국 탄소중립 R&D 정책목표 및 예산현황

1. 미국의 탄소중립 R&D 정책목표

1) 트럼프 2기 행정부 정책 (2025년 이후)

트럼프 2기 행정부는 '에너지 우위(Energy Dominance)' 전략을 핵심 기조로 설정하고, 에너지 자원의 자주적 개발과 에너지 안보 확보, 경제 활성화를 우선 과제로 추진하고 있다. 파리협정에서의 탈퇴를 재단행하고, 연방 차원의 환경 규제 완화 조치를 통해 정부 개입을 최소화하며, 민간 주도의 에너지 시장 확대를 적극 유도하고 있다.

기후변화 대응 전략은 안보와 산업 경쟁력 확보를 중심에 두고 재편되고 있다. 국가기후평가(NCA)를 포함한 과학 기반 정책 체계는 전면 재검토되고 있으며, 2030년 국가감축목표(NDC)와 2050년 장기저탄소전략(LTS)의 폐기를 전제로 한 정책조정이 진행 중이다. 온실가스 감축보다는 저비용 에너지의 안정적 확보와 산업활동 지속을 우선시하는 정책기조가 확립되었으며, 기후정책은 외교나 환경보다 경제안보의 관점에서 운영되고 있다.

연방정부의 연구개발 재정 지원 구조는 '에너지 안보와 경제 경쟁력 중심'이라는 정책 기조에 따라 대대적으로 개편되고 있다. 트럼프 행정부는 2026 회계연도 예산안에서 에너지효율 및 재생에너지국(EERE)의 예산을 약 25억 7,200만 달러 삭감하는 것을 제안했다.²⁹⁾ 트럼프 행정부는 에너지부(DOE) 산하의 주요 응용기술 조직인 고등에너지연구계획국(ARPA-E), 에너지효율 및 재생에너지국, 화석에너지 및 탄소관리국(FECM)의 기능을 기초과학 중심으로 재편하는 방안을 추진하고 있다.³⁰⁾ 이러한 변화는 DOE의 연구개발(R&D) 전략을 재정립하고, 에너지 안보와 경제 경쟁력 강화를 위한 기초과학 연구에 중점을 두는 방향으로 나아가고 있다.

29) Trump proposed budget slashes billions from DOE despite IJIA's boost to EERE, 2024, Utility Dive
(<https://www.utilitydive.com/news/trump-proposed-budget-department-energy-slashed-billions-ijia-eere/747100/>.)

30) Trump funding cuts force layoffs at US renewable energy research lab, 2025, Reuters
(<https://www.reuters.com/business/world-at-work/trump-funding-cuts-force-layoffs-us-renewable-energy-research-lab-2025-05-06/>, 2025년 5월 20일 접속)

에너지기술 정책 역시 전면적인 방향 전환이 진행 중이다. 트럼프 행정부는 연방 토지와 해역에서의 석유 및 가스 시추를 확대하기 위한 정책을 추진하고 있다. 2025년 4월, 미국 내무부는 새로운 5개년 해양 석유 및 가스 임대 프로그램 개발을 위한 공청회를 시작하며, 북극 지역을 포함한 새로운 해역에서의 임대 판매를 모색하고 있다.³¹⁾ 트럼프 행정부는 환경영향평가법(NEPA)의 절차를 간소화하여 석유 및 가스 프로젝트의 승인 기간을 단축하고 있습니다. 2025년 3월, 내무부는 석유, 가스, 석탄, 핵심 광물 프로젝트에 대한 환경 검토 기간을 기존의 수년에서 14~28일로 단축하는 정책을 발표했다. 또한, 2025년 4월, 미국 정부는 서부 지역의 수천 개의 석유 및 가스 임대에 대해 환경영향평가(EIS)를 더 이상 요구하지 않기로 결정했으며 풍력·태양광 등 재생에너지 기술은 더 이상 연방정부의 우선 투자 대상에서 제외되었다.³²⁾ 이들에 대한 보급 확대 및 실증 사업은 민간의 경쟁 환경에 맡겨지는 방향으로 재편되어 재생에너지 기술은 성숙된 기술로 간주되어, 향후에도 연방정부의 직접적 R&D 지원이 재개될 가능성은 낮아보인다.

트럼프 행정부는 청정에너지 및 기후기술 분야에 대한 연방 예산 지원을 대폭 축소하고 있다. 이러한 조치는 이산화탄소 포집·활용·저장 기술(CCUS), 직접공기포집(DAC), 수소 등 주요 감축기술에 대한 지원 중단으로 이어지고 있다. 특히, 수소허브 및 DAC 허브와 같은 대규모 실증사업은 일부 지역에서 중단되었으며, 향후 전면 축소될 가능성이 크다.³³⁾

미국 해양대기청(NOAA), 백악관 과학기술정책실(OSTP), 미국 환경보호청(EPA) 등 기후과학 및 정책을 담당해온 연방기관들은 대규모 예산 삭감과 조직 개편에 따라 기능이 축소되었으며, 일부는 통폐합 또는 해체 절차가 진행 중이다.³⁴⁾

31) Trump administration kicks off plan for expanded offshore drilling, 2025, Reuters
(<https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/trump-administration-kicks-off-plan-expanded-offshore-drilling-2025-04-18/>, 2025년 4월 20일 접속)

32) Trump's Interior Department moves to fast-track oil projects by limiting NEPA reviews, 2024, Houston Chronicle
(<https://www.houstonchronicle.com/politics/article/trump-interior-department-oil-nepa-20292437.php>, 2025년 5월 01일 접속)

33) America's green tech start-ups are in a fight for survival, 2025, The Times
(<https://www.thetimes.com/business-money/technology/article/americas-green-tech-start-ups-are-in-a-fight-for-survival-zrsjx6jvs>, 2025년 5월 10일 접속)

이러한 기조 속에서도 원자력 기술은 예외적으로 전략적 중점 기술로 분류되고 있다. 원자력은 에너지 자립과 산업경쟁력 강화를 위한 핵심 수단으로 재정립되었으며, 소형모듈원자로(SMR) 및 고온가스로 등의 차세대 원자로 개발 및 실증사업은 계속 확대되고 있다. 특히 고농축 핵연료(HALEU)의 생산과 연료공급망 자립을 위한 민관 공동 R&D는 향후 핵심 전략사업으로 집중 지원될 예정이다.³⁵⁾

연방정부의 재정지원 방식은 직접 보조금에서 세액공제, 즉시상각 등 간접지원 수단 중심으로 전환되었으며, 규제완화와 인허가 간소화를 통해 민간 투자 환경이 적극 조성되고 있다. 정부는 기술 리스크를 직접 분담하기보다는 시장 기반의 환경을 구축하는 데 주력하고 있으며, 공공-민간 파트너십 또한 민간 주도형 구조로 전환되고 있다. 이러한 민간 중심 투자 활성화 정책은 향후 에너지 분야 전반에 걸쳐 확대될 가능성이 높다.³⁶⁾

2) 바이든 행정부(2021.1~2025.1)

바이든 행정부는 기후위기를 국정 최우선 과제로 설정하고, 파리기후협약에 복귀함과 동시에 전방위적인 기후정책 추진에 착수하였다. 출범 직후 발표한 「기후위기 대응을 위한 행정명령(Executive Order on Tackling the Climate Crisis at Home and Abroad)」을 통해 연방정부 차원의 정책기조를 천명하였으며, 백악관 기후정책실(Office of Domestic Climate Policy)과 국가 기후 태스크포스(National Climate Task Force)를 중심으로 제도적 기반을 강화해왔다.³⁷⁾

34) Trump's proposal would deeply cut NOAA climate work, 2025, The Washington Post

(<https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2025/04/11/trump-noaa-cuts-proposal/>, 2025년 5월 20일 접속)

35) Small nuclear power struggles on cusp of US electricity demand boom – analysis, 2025, Reuters

(<https://www.reuters.com/business/energy/ceraweek-analysis-small-nuclear-power-struggles-cusp-us-electricity-demand-boom-2025-03-11/>, 2025년 5월 20일 접속)

36) U.S. House move to eliminate critical provisions for clean energy and pollution reduction would undercut public health, stifle innovation, and hurt global competitiveness, 2025, Clean Air Task Force (CATF)

(<https://www.catf.us/2025/05/us-house-move-eliminate-critical-provisions-clean-energy-pollution-reduction-would-undercut-public-health-stifle-innovation-hurt-global-competitiveness/>, 2025년 5월 20일 접속)

기후변화 대응 목표 측면에서 바이든 행정부는 2021년 11월 발표된 장기기후전략(Long-Term Strategy, LTS)을 통해 중장기 감축 로드맵을 구체화하고, UNFCCC에 국가감축목표(NDC)를 제출하였다. 이후 온실가스 및 메탄 감축 목표를 단계적으로 상향하며 국제사회에서의 감축 리더십을 강화해왔으며, 탄소국경조정세 도입을 위한 5개의 초당적 법안이 제118대 의회에 발의되는 등 기후경제 제도화 논의도 함께 확산되었다.³⁷⁾

바이든 행정부는 에너지 정책 차원에서 민간 투자 촉진 중심의 인플레이션 감축법(IRA, 2022년 8월)과 공공 인프라 투자 중심의 인프라법(BIL, 2021년 11월)을 양축으로 삼아 청정에너지 분야의 대규모 재정지원을 본격화했다. 특히, 투자세액공제(ITC)와 생산세액공제(PTC)를 통합하고, 10년간 안정적인 제도 운영을 보장함으로써 사업자들의 장기 투자를 유도했다. 이와 병행하여 에너지부(DOE)는 '에너지 열샷(Energy Earthshots)' 이니셔티브를 통해 수소(Hydrogen Shot), 장주기 에너지저장(Long Duration Storage Shot), 탄소제거(Carbon Negative Shot) 등 핵심 분야별로 기술혁신 목표를 제시하고 이행했다.³⁹⁾

바이든 행정부는 원자력 기술을 탄소중립 달성과 에너지 안보 확보를 위한 전략적 기술로 명확히 규정하고, 이를 뒷받침하기 위한 재정적·제도적 지원을 강화했다. 기존 상업용 원전의 계속 운전을 지원하기 위해 약 60억 달러 규모의 '민간 원전 지원 프로그램(Civil Nuclear Credit Program)'을 운영하고 있으며, 경제적 어려움으로 조기 폐쇄 위기에 놓인 원전의 지속 가동을 유도했다. 아울러 차세대 원자로 개발과 연료 자립을 위한 고농축우라늄(HALEU) 생산 확대에도 약 7억 달러의 연방 예산을 배정하여, 국내 생산 및 공급망 구축을 적극 추진했다. 이러한 정책은 원자력을 저탄소 전력 공급원으로 활용함과 동시에 전략물자 측면에서도 기술·자원의 자립 역량을 확보하려는 이중적 목표를 갖고 미국의 에너지 안보 강화와 중장기 감축 목표 달성에 중요한 기반으로 작용했다.⁴⁰⁾

37) Executive Order 14008: Tackling the Climate Crisis at Home and Abroad, 2021, Federal Register
(<https://www.federalregister.gov/documents/2021/02/01/2021-02177/tackling-the-climate-crisis-at-home-and-abroad>, 2025년 2월 19일 접속)

38) United States 2035 Nationally Determined Contribution (NDC), 2024, UNFCCC
(<https://unfccc.int/sites/default/files/2024-12/United%20States%202035%20NDC.pdf>, 2025년 2월 19일 접속)

39) Notice of Court Orders, 2024, U.S. Department of Energy
(<https://www.energy.gov/notice-court-orders>, 2025년 2월 19일 접속)

40) Availability of High-Assay Low-Enriched Uranium (HALEU), 2024, U.S. Department of Energy

3) 트럼프 1기 행정부(2017.1~2021.1)

트럼프 1기 행정부는 국제적인 기후 리더십보다는 자국 내 에너지 자립과 경제 활성화를 우선시하며 '에너지 우위(Energy Dominance)'를 핵심 정책 기조로 내세웠다.⁴¹⁾ 기후변화 대응에 있어서는 파리기후협약에서 탈퇴하고, 다자간 기후 거버넌스에서의 역할을 축소하였으며, 전반적으로 기후변화에 대한 회의적 시각을 기반으로 양자 협력 중심의 접근을 선호하였다. 환경보호청(EPA)의 예산을 대폭 삭감하려는 시도가 있었으나, 의회의 견제로 인해 연방 차원의 연구개발(R&D) 예산은 유지되거나 일부 증가하는 데 그쳤다.

[표 1. DOE R&D 신청예산]

Category/Program	FY2017	FY2018	FY2019	FY2020	FY2021	FY2022	FY2023	FY2024
Energy	5,331	1,717	2,061	2,313	2,950	7,827	7,709	7,376
Energy Efficiency and Renewable Energy	3,072	636	696	696	720	3,924	4,019	3,826
Fossil Energy and Carbon Management	600	280	502	562	731	890	893	905
Nuclear Energy	994	703	757	824	1,180	1,851	1,675	1,563
Electricity	165	78	36	156	195	327	297	297
CESER Risk Management Tools and Technologies			70	75	103	135	125	135
Advanced Research Projects Agency-Energy	500	20			21	500	700	650
Advanced Research Projects Agency-Climate						200		

(<https://www.energy.gov/infrastructure/availability-high-assay-low-enriched-uranium-haleu>, 2025년 2월 23일 접속)

41) Presidential Executive Order on Promoting Energy Independence and Economic Growth, 2017, The White House (Trump Administration) (<https://trumpwhitehouse.archives.gov/presidential-actions/presidential-executive-order-promoting-energy-independence-economic-growth>, 2025년 2월 23일 접속)

[표 2. DOE R&D 승인예산]⁴²⁾

Category/Program	FY2017	FY2018	FY2019	FY2020	FY2021	FY2022	FY2023	FY2024
Energy	3,988	4,502	4,721	5,359	5,477	6,110	6,434	6,703
Energy Efficiency and Renewable Energy	1,812	2,016	2,067	2,406	2,484	2,773	2,891	3,460
Fossil Energy and Carbon Management	668	727	740	750	750	825	890	865
Nuclear Energy	1,017	1,205	1,326	1,493	1,508	1,655	1,773	1,525
Electricity	185	201	132	190	212	277	285	280
CESER Risk Management Tools and Technologies			90	95	96	130	125	113
Advanced Research Projects Agency-Energy	306	353	366	425	427	450	470	460
Advanced Research Projects Agency-Climate								

에너지 정책 면에서는 오바마 행정부 시절의 청정에너지 규제 정책들을 폐지하거나 완화하는 조치가 잇따랐다. 대표적으로 Clean Power Plan은 폐지되고, 이를 대체하는 Affordable Clean Energy Rule이 도입되었으며, 자동차 부문의 경우 기업 평균연비(CAFE) 기준을 완화하고 새로운 SAFE(Safer Affordable Fuel Efficient) 기준을 도입하였다. 또한, Keystone XL 송유관 프로젝트 승인 등 에너지 인프라 확대를 통해 화석연료 중심의 경제 활성화를 추진하였다.⁴³⁾

원자력 분야에서는 에너지 안보와 글로벌 경쟁국(중국, 러시아)에 대한 기술적 우위 확보를 위한 전략이 강조되었다. 2017년 발표된 국가안보전략(NSS)에서는 원자력을 저렴하고 안정적인 에너지원으로 정의하였으며, 2020년에는 에너지부(DOE) 주도로 「미국의 원자력 경쟁우위 회복 전략」을 발표하였다. 해당 전략에는 선진 원자로 기술 개발, 우라늄 산업 지원, 수출 확대 등 원자력 생태계 전반의 경쟁력 회복 방안이 포함되었다. 이러한 일련의 조치는 미국 내 원자력 기술의 전략적 위치를 재정립하고, 국제 시장에서의 리더십 회복을 모색하려는 정책적 시도로 해석된다.⁴⁴⁾

42) Federal Research and Development Funding: FY2017–FY2024, 2017–2024, Congressional Research Service (CRS)

(<https://sgp.fas.org/crs/misc/R44516.pdf>, 2025년 5월 20일 접속)

43) Affordable Clean Energy Rule Primer, 2019, Clean Energy Business Network (CEBN)

(https://www.cebn.org/media_resources/affordable-clean-energy-rule-primer/, 2025년 2월 23일 접속)

44) National Security Strategy of the United States of America, 2017, The White House (Trump Administration)

[표 3. 미국 탄소중립 R&D 정책 비교표]
(트럼프 1, 2기 vs 바이든)

구분	트럼프 2기 전망 (2025~)	바이든 행정부 (2021~2025)	트럼프 1기 (2017~2021)
기본 방향	규제 철폐, 파리협약 재탈퇴, 화석연료 중심 회귀	기후위기 대응 최우선, 넷제로 전략 수립	에너지 우위, 화석연료 중심의 자립 추진
기후변화 대응	국제협약 불공정성 부각, 탈퇴 재추진	2030년 50~52% 감축, 2050 넷제로, 2035 NDC 제출	파리협약 탈퇴, 기후과학 회의론, 국제협력 축소
R&D 예산 방향	청정에너지 및 기후기술 R&D 축소 가능성, 화석·원자력 일부 유지	청정에너지 R&D 대폭 확대 (IRA, BIL 등), Earthshots 추진	EPA 등 친환경 예산 감축 시도, 의회 견제로 부분 유지
주요 법/계획	IRA 폐기 예고, 정부 예산 2조 달러 감축	IRA (2022), BIL(2021), 국가혁신경로(NIP, 2023)	Clean Power Plan 폐지, Affordable Clean Energy rule 도입
에너지 정책	재생에너지 지원 중단, 화석연료 인프라 확충	세액공제로 민간 투자 유도, 청정에너지 기반 확산	화석연료 생산 확대, 연비 규제 완화
원자력 정책	SMR 중심 민간 투자 확대, NRC 규제 완화 전망	기존 원전 유지(60억불 세액공제), HALEU 생산 지원	국가안보 차원의 기술경쟁력 회복, 산업 수출 전략

2. 미국의 R&D 예산 및 지출

○ 기본 구조

미국의 연방 연구개발(R&D) 예산은 백악관 과학기술정책실(OSTP)과 예산관리처(OMB)가 공동으로 주도하는 체계를 기반으로 운영되며, 각 부처에 R&D 우선순위 지침을 하달하고 이를 반영한 부처별 예산안을 조정한 뒤 대통령 예산안에 통합하여 의회에 제출하는 방식으로 편성된다. 이후 의회 내 상·하원 세출소위원회의 심의를 거쳐 최종 확정되며, 실행에 옮겨진다. 이 과정에서 OSTP와 대통령 직속의 국가과학기술위원회(NSTC)가 중심이 되어 부처 간 전략을 조율하고, 기술 분야별 예산의 중복과 누락을 최소화하는 역할을 수행한다.

(<https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2017/12/NSS-Final-12-18-2017-0905.pdf>, 2025년 2월 24일 접속)

탄소중립 기술 R&D는 이러한 기본 틀 위에 복수의 부처가 공동으로 참여하는 다부처 조정 구조를 바탕으로 전개된다. 에너지부(DOE)를 중심으로 NASA, NSF, NOAA 등 주요 과학기술·환경 부처가 역할을 분담하고 있으며, NSTC 내 에너지·환경·기후 분야에서 기술 간 연계 전략과 중복 방지 기준을 수립하고 있다. 이와 함께 대통령 과학기술자문위원회(PCAST)는 민간 전문가들로 구성되어 행정부 기술정책의 방향성과 예산 배분에 대해 자문을 제공하고 있으며, DOE 내에서는 장관 직속의 자문위원회(SEAB), 기술별 자문위원회(EAC, NEAC 등)가 실무 자문 역할을 수행하고 있다.⁴⁵⁾

[예산 편성 절차]⁴⁶⁾

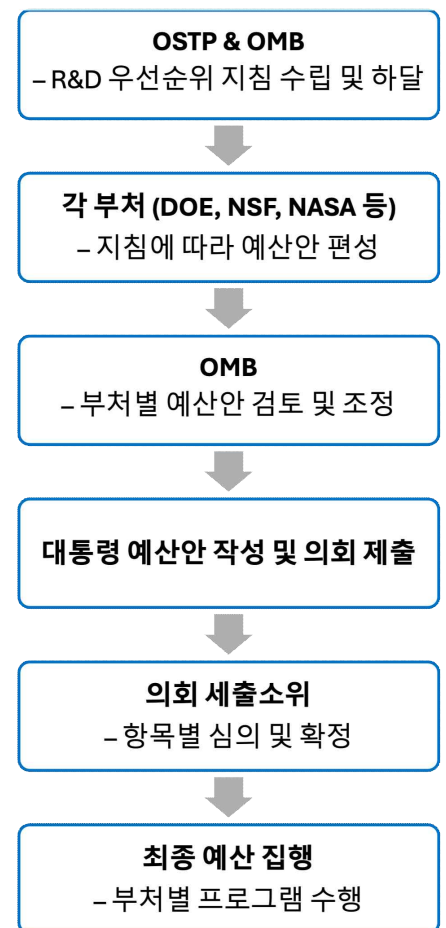
○ 예산 편성 절차와 커미티 구성

예산 편성 절차는 오른쪽 도식과 같이 매년 여름 OSTP와 OMB가 부처에 제시하는 R&D 우선순위 지침으로 시작되며, 이를 반영한 각 부처 예산안은 OMB의 검토를 거쳐 대통령 예산안으로 통합된다. FY 2025 예산안의 경우, 2050년 넷제로 달성을 위한 연구개발 강화, Net-Zero Game Changers Initiative, Ocean Climate Action Plan, U.S. Global Change Research Program의 10개년 전략계획 등과 연계된 연구개발 우선과제가 강조되었다. 특히 온실가스 배출 및 제거의 계량·모니터링 기술 강화에 대한 투자도 주요 항목으로 포함되었다.

[그림 9. 트럼프 1기 행정부당시 OSTP 구조⁴⁷⁾



[그림 8. 미국 예산 편성 절차]



45) Federal Research: Additional Actions Needed to Improve Visibility and Coordination of Research Spending, 2023, U.S. Government Accountability Office (GAO)

(<https://www.gao.gov/assets/820/814215.pdf>, 2025년 3월 07일 접속)

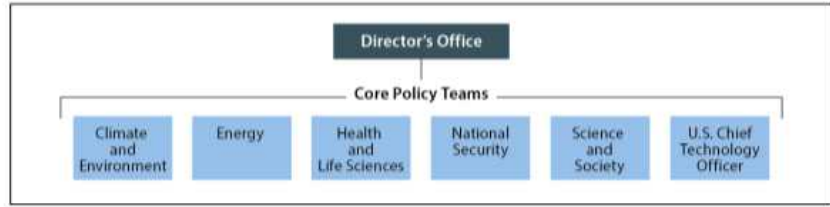
46) Federal Budget Process, 2024, USA.gov

(<https://www.usa.gov/federal-budget-process>, 2025년 3월 07일 접속)

47) The Role of the Office of Science and Technology Policy in the Federal Research and Development Enterprise, 2023, Congressional Research Service (CRS)

(<https://www.congress.gov/crs-product/R43935>, 2025년 3월 24일 접속)

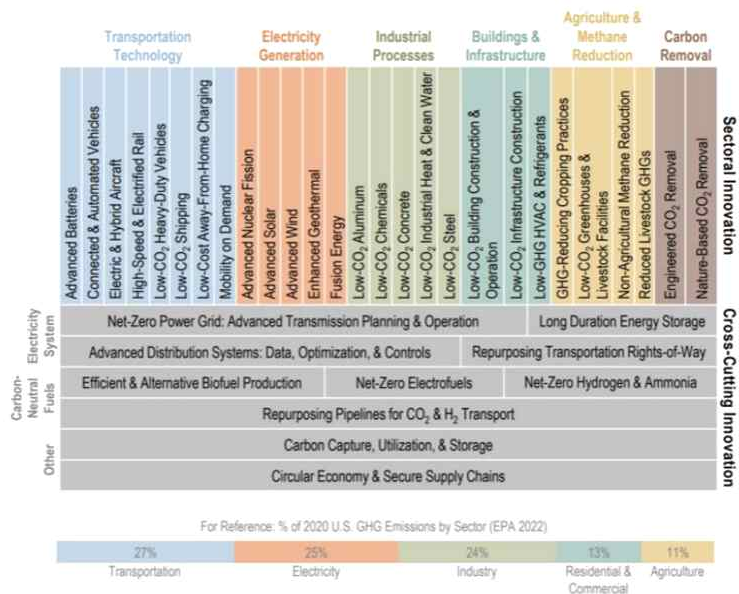
[그림 10. 바이든 행정부당시 OSTP 구조48)]



탄소중립 기술 R&D는 범부처·다연차 사업의 특성을 갖는 동시에, 조세지원 및 규제정책과 밀접하게 연동된 구조를 지닌다. 인프라 투자법(IIJA), 인플레이션 감축법(IRA) 등 대규모 입법을 통해 예산의 안정성과 지속성이 확보되며, 세액공제(PTC, ITC, 45Q, 45V 등)와 대출보증(LPO), 실증펀드 등 다양한 정책수단이 혼합적으로 활용된다. 이러한 예산 집행 방식은 기술 성숙도(TRL)에 따라 기초연구 중심의 R&D 보조금에서부터 실증펀드, 민간투자 유도를 위한 세제지원까지 계단식으로 구성되어 있다.

[그림 11. 2023년에 제출된 FY 2025 의 예시]49)

- Net-Zero Game Changers Initiative



48) Federal Research and Development (R&D) Funding: FY2025, 2024, Congressional Research Service (CRS)

(<https://sgp.fas.org/crs/misc/R47410.pdf>, 2025년 3월 24일 접속)

49) U.S. Innovation to Meet 2050 Climate Goals, 2022, The White House

(<https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2022/11/U.S.-Innovation-to-Meet-2050-Climate-Goals.pdf>, 2025년 5월 20일 접속)

○ 주요 기술별 R&D 예산 구조

기술별 예산 구조를 보면, DOE 산하의 응용기술국들이 각각 핵심 기술군을 담당한다. EERE는 고효율 태양광·풍력·계통 통합 관련 R&D를, FECM은 CCUS 및 직접공기포집(DAC), HFTO는 수전해·연료전지·수소터빈 등 수소 관련 기술을, VTO는 전기차·차세대 배터리 등을 담당하며, 원자력에 대해서는 NE국이 소형 모듈원자로(SMR), 고급원자로(ARDP), 고농축핵연료(HALEU) 등을 중심으로 R&D를 추진한다. 특히 수소허브 실증사업은 인프라법 예산(80억 달러)과 IRA의 45V 세액공제 혜택을 동시에 활용하며, 민간투자 연계형 구조로 운영되고 있다.

청정기술의 상용화를 위한 연방정부의 전략은 단순한 R&D 예산 집행을 넘어서 세제지원, 인허가 간소화, 공공조달 확대 등의 정책과도 유기적으로 연계되어 있다. 이와 같은 복합적 정책 구성이 가능한 배경에는 대통령직의 기후정책 기조, 의회의 정치적 구성, 시장 반응 및 국제 경쟁력 확보 등 다양한 요인이 작용하고 있으며, 이는 기술 분야별로 예산 증감 폭과 우선 순위가 정권 변화에 따라 가변적으로 운영되는 구조를 만들고 있다.

미국 연방정부는 기술의 성숙도(Technology Readiness Level, TRL)에 따라 예산을 집행하는 방식에 차별성을 두고 있으며, 이를 통해 연구개발 전주기를 포괄하는 재정 지원 체계를 운영하고 있다. 초기 단계의 기초과학 연구에 대해서는 연구보조금(R&D grant) 및 경쟁형 과제공모를 중심으로 지원이 이루어지며, 이는 주로 국립과학재단(NSF)이나 에너지부 과학국(DOE Office of Science) 등 기초연구 중심 기관이 담당한다. 반면, 기술이 실증 단계 이상으로 진입하면 DOE 산하의 응용기술국(EERE, FECM, NE 등)이 실증펀드(demonstration fund), 세액공제(예: PTC, ITC, 45Q, 45V), 대출보증(LPO) 등 다양한 재정수단을 활용해 실용화와 상용화를 지원한다.⁵⁰⁾

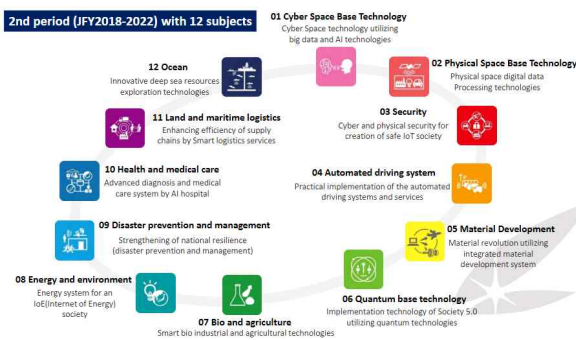
특히 청정에너지 기술의 시장 확산을 촉진하기 위해 세제지원과 함께 규제완화, 인허가 간소화, 공공조달 확대 등의 정책수단이 동원되며, 연방정부의 구매력이 초기 시장 창출 수단으로 활용되기도 한다. 이처럼 기술개발에서 시장 보급까지 연결되는 예산 집행 체계는 민간의 투자 유인과 기술 확산 효과를 극대화하기 위한 전략적 설계로 평가된다.

50) EERE Funding Opportunities, 2024, U.S. Department of Energy
(<https://www.energy.gov/eere/funding/eere-funding-opportunities>,
2025년 3월 24일 접속)

Ⅲ 일본 탄소중립 R&D 정책목표 및 예산현황

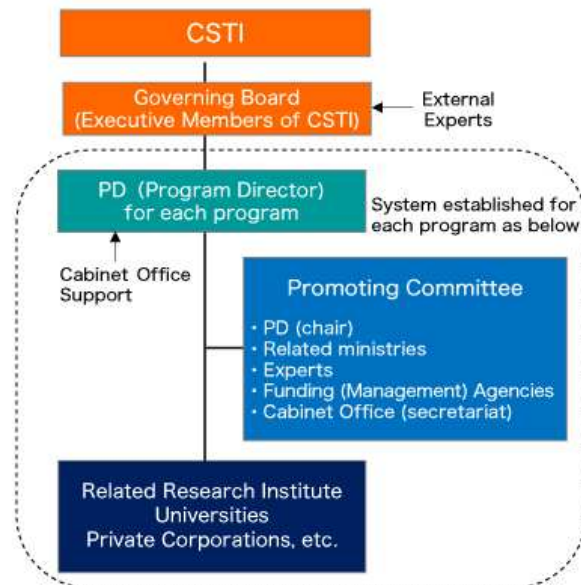
1. 일본의 일반 R&D 정책목표

[그림 12. 사회 5.0 SIP 12개 전략분야]



일본의 일반 R&D 정책은 「과학기술·이노베이션 기본계획」을 근간으로 하며, 2021년 발표된 「제6기 기본계획(2021-2025)」은 디지털 전환(DX)과 그린 전환(GX)의 병행을 핵심 축으로 삼고 있다. 이 계획은 사회구조 개혁을 위한 사이버-물리 융합 시스템 구축, 기초연구 역량 강화, 인재 양성 등 3대 전략을 제시하며, 5년간 총 30조 엔의 정부 R&D 투자와 120조 엔의 민간 합동 투자를 목표로 설정했다.⁵¹⁾ 특히 「사회 5.0(Society 5.0)」비전 하에 사이버 우주 기반 기술, 물리 우주 기반 기술, 보안, 자동화 운전 시스템, 재료 개발, 양자 기반 기술, 바이오 및 농업, 에너지 및 환경, 재난 예방 및 관리, 보건 의료, 육상 및 해상 물류, 해양 등 왼쪽 그림의 12개 전략분야를 지정해 집중 지원하고 있으며, 연구개발에서 사회 구현까지 종단적 관리를 강조한다.⁵²⁾

[그림 13. SIP 운영체계]



일반 R&D의 예산 편성은 내각부 산하 종합과학기술·이노베이션회의(CSTI)가 총괄하며, 문부과학성(MEXT), 경제산업성(METI) 등 부처별 사업 제안을 통합 조정한다.⁵³⁾ 이러한 기본계획과 예산 편성 체계에 따라, 일본은 부처 간 칸막이를 넘어선 범부처형 대형 R&D 사업으로서 '전략적 혁신창출 프로그램(SIP, Strategic Innovation Promotion Program)'을 운영하고 있다. SIP 홈페이지⁵⁴⁾에 왼쪽과 같은 도식으로 편성됨을 확인할 수 있다. SIP는 내각부 산하 CSTI가 직접 기획·총괄하는 국가중점 R&D 플랫폼으로, 사회적·산업적 파급효과가 크고 부처 간 연계가 필수적인 분야를 선정해, 연구개발부터 실증, 사회 구현까지 전주기적으로 지원하는 것이 특징이다.

2023년 기준 SIP는 총 14개 프로젝트를 추진하고 있으며, 이들 과제는 미래 모빌리티, 에너지 시스템 혁신, 차세대 인프라,

51) The Sixth Science, Technology, and Innovation Basic Plan, 2021, d i g w a t c h (

<https://dig.watch/resource/the-sixth-science-technology-and-innovation-basic-plan>, 2025년 5월 25일 접속)

52) Japan's new Science, Technology, and Innovation Basic Plan, 2021, SATO Fumikazu (Councillor for Innovation Promotion, Cabinet Secretariat)

53) Overview of Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP), Secretariat of Science, Technology and Innovation Policy Cabinet Office

54) About SIP, Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (<https://www.jst.go.jp/sip/k03/sm4i/en/outline/about.html>, 2025년 5월 25일 접속)

방재·재해 대응, 바이오·헬스케어, 식량·농업 혁신, 소재·제조 혁신, 양자·AI 등 일본이 중점적으로 육성하는 전략 분야를 망라한다. 각 프로젝트는 관련 부처, 산업계, 학계, 연구기관이 참여하는 '오픈 이노베이션' 방식으로 운영되며, 예를 들어 자율주행, 스마트 물류, 수소사회 실현, 레질리언트 인프라, 차세대 농식품 시스템, 감염증 대응 등 사회·경제적 임팩트가 큰 주제들이 포함된다.⁵⁵⁾

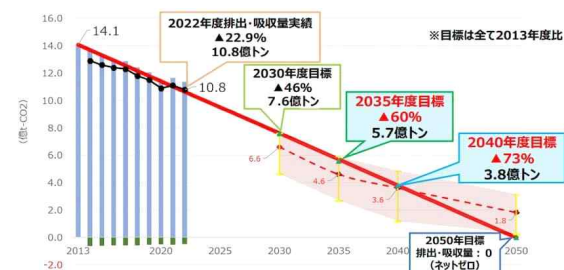
SIP는 단순히 기술개발에 그치지 않고, 실증사업, 표준화, 제도개선, 인재양성, 국제공동연구 등 사회 구현 단계까지 연계된 종합적 R&D 관리체계를 지향한다. 이를 통해 일본 정부는 국가 전략분야의 글로벌 경쟁력 강화와 사회문제 해결을 동시에 추구하며, R&D 투자 효과의 극대화와 혁신 생태계 확산을 도모하고 있다.

2. 일본의 탄소중립 R&D 정책목표

일본은 올해 2035 NDC를 제출하며 오른쪽 그림과 같이 2050년까지 탄소중립 실현과 2030년까지 2013년 대비 온실가스 46% 감축 목표를 세웠다.⁵⁶⁾ 특히 IEA 분석에 따르면 전 세계 CO2 감축의 약 절반이 기존 기술로는 불가능하며, 혁신기술 개발이 필수적이라는 인식 하에 정부 주도의 대규모 R&D 투자를 추진한다. 따라서 일본의 탄소중립 R&D 정책은 단순한 환경정책을 넘어 일본의 기술적 우위를 활용해 새로운 탈탄소 시장을 창출하고 산업경쟁력을 강화하려는 경제성장 전략으로 설계되었다. 일본 정부 공동 보고서에 따르면, 일본의 탄소중립 R&D 정책의 과거와 미래는 아래 두 문단으로 정리할 수 있다.⁵⁷⁾

지금까지 일본의 탄소중립 R&D 정책은 2020년부터 2023년까지 체계적인 발전 과정을 거쳐 현재의 모습을 갖추었다. 2020년 10월 탄소중립 2050 선언 이후 12월 그린성장전략을 통해 14개 분야의 기술·산업 전략이 제시되었고, 2021년 4월에는 2030년 온실가스 46% 감축(2013년 대비)이라는 구체적 중간 목표가 설정되었다. 같은 해 10월에는 제6차 전략적 에너지 계획, 지구온난화 대책계획, 장기전략이 동시에 확정되면서

[그림 14. 2025년에 제출한 NDC 목표]



55) Overview of the 14 Projects of Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP), 2024, Secretariat of Science, Technology and Innovation Policy Cabinet Office

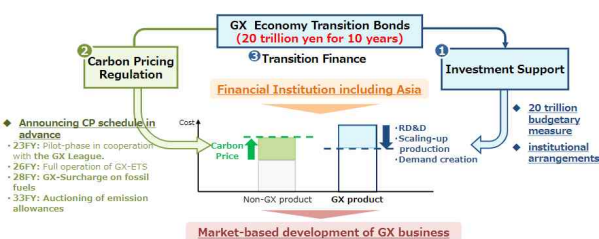
56) 일본 2035 NDC제출, “2035년 온실가스 60% 감축 선언”... 2050 탄소중립 가속화, 2025 greenium (<https://greenium.kr/news/61079/>, 2025년 5월 25일 접속)

57) Japan Climate Transition Bond Framework, 2023, Cabinet Secretariat / Financial Services Agency / Ministry of Finance / Ministry of Economy, Trade and Industry / Ministry of the Environment

R&D 정책의 법적·제도적 기반이 마련되었다. 2022년 5월 기사다 총리의 기조연설에서 150조 엔 규모의 공민간 투자 목표와 성장지향형 탄소가격제라는 혁신적 개념이 발표되었으며, 12월에는 GX 실현을 위한 기본방침을 통해 향후 10년 로드맵이 제시되었다. 2023년에는 GX 추진법과 GX 탈탄소전원법이 승인되고 7월 GX 추진전략이 각의 결정되면서 R&D 정책의 법적 기반이 완성되었다. 이 과정에서 Green Innovation Fund를 통한 10년간 약 3조 엔 규모의 체계적 R&D 지원 체계가 구축되어 수소환원제철, 차세대 배터리, 부유식 해상풍력, 페로브스카이트 태양전지 등 일본의 기술적 강점 분야에 대한 전주기 지원이 본격화되었다.

향후 일본의 탄소중립 R&D 정책은 2050년 탄소중립과 2030년 46% 감축 목표 달성을 위해 단계적으로 추진될 예정이다. 2023년부터 2028년까지의 단기 집중투자기에는 GX 경제전환채권을 통한 20조 엔 규모의 정부 선행투자가 시작되어 민간의 GX 투자를 유도하고, 장기·다년도 지원을 통해 기업의 예측가능성을 높인다. 2026년부터 2033년까지의 제도 본격화기에는 GX-ETS(배출권거래제)가 본격 운영되고 2028년부터는 GX-서차지(화석연료 부담금)가 도입되며, 2033년부터는 유료 경매제가 단계적으로 도입되어 탄소가격제가 완전히 작동하게 된다. 2030년대 이후 글로벌 확산기에는 아시아 제로배출공동체(AZEC) 구상을 통해 일본의 GX 기술을 아시아 전체로 확산시키고 국제적 롤메이킹을 주도한다. 구체적 목표로는 수소 도입량을 2030년 300만 톤에서 2050년 2000만 톤으로, 암모니아를 2030년 300만 톤에서 2050년 3000만 톤으로 확대하고, 2030년까지 국내 150GWh 배터리 제조인프라를 구축하며, 부유식 해상풍력과 페로브스카이트 태양전지의 상용화를 달성한다는 것이다. 이러한 정책은 기술혁신을 통한 탄소중립 달성과 동시에 산업경쟁력 강화라는 이중 목표를 추구하며, 특히 하드-투어베이트 섹터의 제조공정 혁신에 집중하여 일본의 기술적 우위를 활용한 글로벌 시장 창출을 목표로 한다.

[그림 15. GX 경제전환채권 모식도]

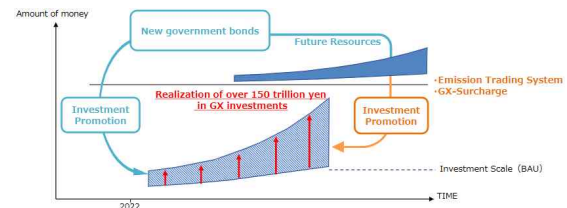


이를 실현하기 위한 재정 메커니즘으로 Pro-Growth Carbon Pricing Concept(성장지향형 탄소가격제)가 도입된다. 이는 크게 3가지 핵심 메커니즘으로 구성된다. 첫째, 왼쪽 그림과 같이 GX 경제전환채권(Japan Climate Transition Bonds)을 통해 10년간 20조 엔 규모의 정부 선행투자를 실행하여 민간의 위험을 완화하고 혁신기술 개발을 지원한다.⁵⁸⁾ 이 채권은 2024년 2월 첫 발행(1.6조 엔)되었으며, DNV 및 JCR의 제3자 검증을 거쳐 국제기준(ICMA Climate Transition Finance Handbook)과의 일치성을 확인받았다. 특히 CBI(Climate Bonds Initiative) 인증을

58) Japan's Green Transformation Policy and Transition Finance, 2024, 일본 경제산업성

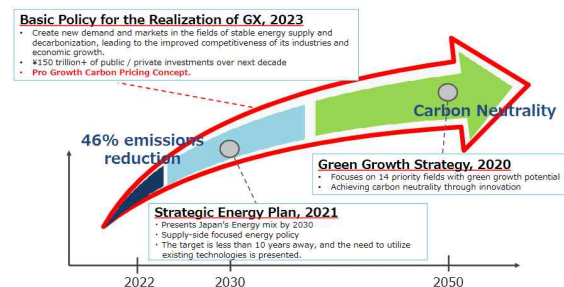
획득하여 글로벌 표준을 충족함을 입증했다. 둘째, 배출권거래제(GX-ETS)는 2023년 GX 리그(747개사 참여)를 통해 시범 운영된 후 2026년 본격 시행되며, 철강·화학 등 고배출 산업을 중심으로 단계적 경매제를 도입할 계획이다. 셋째, GX-서차지(화석연료 부담금)는 2028년부터 화석연료 수입업체를 대상으로 탄소배출량에 비례한 부과금을 도입해 점진적 탄소비용 내재화를 추진한다. 이 개념의 핵심은 오른쪽 그림과 같이 투자 유인과 규제의 통합적 설계에 있다.⁵⁹⁾

[그림16. GX 투자 유인과 규제 설계]



일본의 탄소중립 R&D 정책은 2020년 10월 「2050 탄소중립 선언」을 기반으로 체계화되었으며,⁶⁰⁾ 경제산업성(METI) 주도의 「녹색성장전략(Green Growth Strategy)」과 2023년 2월 발표된 「GX(그린 트랜스포메이션) 추진전략」을 양대 축으로, 수소·암모니아, 해상풍력, 차세대 배터리, CCUS 등 14개 중점 분야에서 세계 최고 수준의 탈탄소 기술 확보와 산업경쟁력 강화를 동시에 추구하고 있다.⁶¹⁾

[그림17. 탄소중립 달성 위한 대표 정책]



녹색성장전략은 단순한 환경 규제를 넘어 산업구조 전환과 기술혁신을 통한 경제 성장을 동시에 추구하는 '환경과 성장의 선순환' 모델을 지향하며, 해상풍력·태양광·지열, 수소·연료암모니아, 차세대 열에너지, 원자력, 자동차·배터리, 반도체·정보통신, 선박, 철강·화학·시멘트 등 에너지다소비 산업, 자원순환, 주택·건물, 디지털·분산형 에너지, 항공기, 바이오제조, 식량·농림수산, 지역사회 등 14개 핵심 분야를 지정해 체계적인 R&D 투자 로드맵을 수립했다.⁶²⁾ 각 분야별로 2030년, 2040년, 2050년 단계별 감축목표와 기술로드맵, 실증·상용화 계획, 민관 투자 및 제도개선 방안이 마련되어 있다. 예를 들어, 해상풍력은 2040년까지 30~45GW, 태양광은 2030년 단가 14엔/kWh, 수소는 2050년 연간 2,000만 톤 생산, 자동차는 2035년 신차 판매 100% 전동화, 반도체·IT는 2040년 산업 전반의 탄소중립 달성 등 구체적 목표가 제시되어 있다. 각 목표는 오른쪽 표에 정리되어 있다.⁶³⁾

[그림18. 녹색성장전략 14개 핵심 분야]

Table 2. Japan's Green Growth Strategy: 14 Priority Areas

Areas	Objectives
1 Offshore wind, solar, geothermal	In 2040, 30 to 45 million kW project promotion [offshore wind power] In 2030, unit cost of power generation → 14 yen/kWh [solar power]
2 Hydrogen and fuel ammonia	In 2050, production of 20M.t of green hydrogen Securing a market worth 500 billion yen in Southeast Asia [fuel ammonia]
3 Next-generation thermal energy	In 2050, 90% injection of synthetic methane into existing infrastructure
4 Nuclear power	In 2030, introduction of decarbonized hydrogen production technology in high-temperature gas furnace
5 Automobile/Battery	In 2035, 100% of EVs in new passenger car sales
6 Semiconductor/IT	In 2040, carbon neutralization of the semiconductor and information communication industries
7 Ship	In 2028, realization of commercial operation of decarbonized ships
8 Logistics, human flow, civil infrastructure	In 2050, the realization of a carbon-neutral port
9 Food, Agriculture, Forestry and Fisheries	In 2050, realization of carbon neutrality in agriculture, forestry and fisheries industries
10 aircraft	After 2030, phased installation of key decarbonized technologies such as batteries
11 Carbon recycling and materials	In 2050, commercialization of artificial synthetic plastic [carbon recycling] In 2050, Realization of zero carbon steel(materials)
12 Housing/building/next-generation power management	In 2030, ZEH/ZEB introduction to new housing/buildings [Housing/buildings]
13 Resource circulation	In 2030, introduction of about 2 M.t of biomass plastics
14 Lifestyle related	In 2050, realization of carbon-neutral, resilient and comfortable living

Source: Ministry of Economy, Trade and Industry (2022). Latest domestic and international trends related to carbon neutrality (in Japanese)

59) Pathways to Japan's Green Transformation (GX), 2022, 일본 경제산업성

60) Japan's Carbon Neutrality and Green Growth Strategy, 2023, KIEP World Economy Brief

61) Pathways to Japan's Green Transformation (GX), 2022, 일본 경제산업성

62) Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050, 2022, 일본 경제산업성 (

https://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/global_warming/ggs2050/index.html, 2025년 5월 25일 접속)

63) Japan's Carbon Neutrality and Green Growth Strategy, 2023, KIEP World Economy Brief

또한, GX 추진전략은 에너지의 안정적 공급, 성장지향형 탄소가격제 도입, 국제협력, 사회구조 전환 등을 주요 축으로 한다. 일본 정부는 2050년까지 총 150조 엔(약 1,100조 원) 규모의 민간 합동 투자를 목표로 설정하고 있으며, 이 중 2023~2032년 동안 20조 엔 규모의 「GX 경제전환채권」을 발행해 초기 투자 재원을 마련할 계획이다.⁶⁴⁾ GX Promotion Act(2023년 5월 제정)에 따라 일본 정부는 2023년 7월 GX Promotion Strategy를 공식화하고, 2050년까지 화석연료 중심의 경제·산업구조를 청정에너지 기반으로 전환하는 정책을 추진하고 있다. 이 전략에는 에너지 절약, 재생에너지 대폭 확대, 차세대 태양광·부유식 해상풍력, 원자력 발전의 안전성 강화 및 장기운전, 수소·암모니아·CCS-e-연료·배터리 등 신기술 R&D 및 실증, 그리고 사회적 수용성 제고와 중소기업·지역사회 지원 등도 포함된다. GX 경제이행채(10년간 20조 엔 발행)와 성과지향형 R&D 투자, 탄소가격제(배출권거래제, 탄소할당경매, 탄소부과금) 등 정책수단이 동원된다.⁶⁵⁾

3. 일본의 R&D 예산 및 지출

일본의 R&D 예산 및 지출 구조는 내각부(특히 종합과학기술혁신회의, CSTI)를 중심으로 한 통합적 조정과 임무지향형 예산 배분이 핵심이다. 2025년 기준 일본의 과학기술관계예산은 약 5조 3,497억 엔 규모로, 이 예산은 내각부, 문부과학성(MEXT), 경제산업성(METI) 등 주요 부처가 협력해 집행한다. 과거에는 각 부처가 개별적으로 예산을 편성했으나, 2014년 이후 예산조정 기능이 문부과학성에서 내각부로 이관되면서 CSTI가 전략적 우선순위에 따라 예산을 기획·배분하는 체계로 전환되었다. CSTI는 과학기술혁신창조추진비(연간 약 555억 엔 규모) 등 전략예산을 활용해, 사회문제 해결형 임무프로그램(SIP, AMED, BRIDGE 등)에 직접적으로 배분하고 있다. 이로써 기존의 부처별 분산형 예산관리에서, 범부처·문제해결 중심의 임무지향형 예산체제로 진화하였다.⁶⁶⁾

탄소중립 R&D 예산은 대표적으로 경제산업성이 주도하는 그린이노베이션 기금(2021~2030, 총 2조 엔 규모)과 환경성의 탄소중립 기술 R&D 프로그램(2023년 408억 엔) 등으로 구성된다. 그린이노베이션 기금은 수소, 해상풍력, 전고체배터리, CCS 등 14개 전략 분야의 대형 실증·상용화 프로젝트에 집중적으로 투입되며, 민간 참여와 상용화 가능성, 대규모 감축효과를 중점

64) 일본 ‘GX 추진전략’의 주요 내용과 시사점, 2023, KIEP 세계경제포커스

65) Japan’s Green Transformation Policy and Transition Finance, 2024, 일본 경제산업성

66) 일본의 혁신정책 거버넌스 변동 분석과 한국에의 시사점, 2024, STEPI

적으로 평가한다. 환경성의 탄소중립 기술 프로그램은 지역 맞춤형 실증연구, 교통·건물·농업 등 다양한 분야에서 실증과제를 지원한다.

일본의 Green Innovation Fund(그린이노베이션펀드)는 2050년 탄소중립 실현을 목표로 2021년 경제산업성(METI)이 설립한 대형 R&D 지원 기금으로, 오른쪽 그림과 같이 신에너지·산업기술융합개발기구(NEDO)가 운영을 담당한다.⁶⁷⁾ 이 펀드는 당초 2조 엔 규모로 출범했으며, 10년간 장기적·지속적으로 R&D부터 실증, 사회적 구현(상용화)까지 전주기를 지원하는 것이 특징이다. 지원 대상은 Green Growth Strategy에서 우선순위로 선정된 14개 분야로, 부유식 해상풍력, 페로브스카이트 태양전지, 수소·암모니아 생산·공급망, 전고체배터리, 철강·화학·시멘트 등 하드-투-어베이트(hard-to-abate) 산업의 공정 혁신, CCUS(탄소포집·활용·저장) 등 오른쪽 그림과 같다. 프로젝트는 평균 200억 엔 이상의 대규모 사업이 중심이며, 기업이 2030년까지 구체적 감축 목표와 상업화 계획을 제시해야 한다. 단기적 정부지원으로 충분한 과제는 제외하고, 장기적 리스크가 높은 혁신 분야에 집중한다는 점이 특징이다. 민간기업의 적극적 참여를 유도하기 위해 CEO가 직접 사업전략서를 제출하고, 목표 달성 시 추가 지원·미달성 시 위약금 부과 등 인센티브와 책임성을 강화한 구조를 채택했다.⁶⁸⁾ 이 펀드는 단순한 R&D 지원을 넘어, 산업구조 전환과 글로벌 시장 선점을 위한 일본 GX(Green Transformation) 전략의 핵심 재원으로 기능하며, 아시아 제로배출공동체(AZEC) 구상과 연계해 일본 기술의 아시아 확산도 적극 추진하고 있다

환경성의 탄소중립 기술 프로그램(Regional Co-creation and Cross-sectoral Carbon Neutral Technology Research and Development Program)은 2030년 온실가스 46% 감축과 2050년 탄소중립 실현을 목표로, 지역 맞춤형 혁신기술 개발과 실증에 중점을 둔 일본 환경성의 대표적 탄소중립 R&D 예산 사업이다. 일본 환경성은 오른쪽 그림과 같은 보고서를 매년 출간한다.⁶⁹⁾ 이 프로그램은 중앙정부 주도의 대형 프로젝트와 달리, 2024년 51억 엔 규모로 금액은 작지만 지방자치단체·기업·대학·연구기관 등 다양한 이해관계자가 참여하여 지역 특성에 기반한 실증연구를 지원하는 것이 특징이며, 크게 '지역공동창출 및 교차분야형(Regional Co-creation and Cross-sectoral Themes)'과 '바텀업형 지역특화 R&D(Bottom-up Type

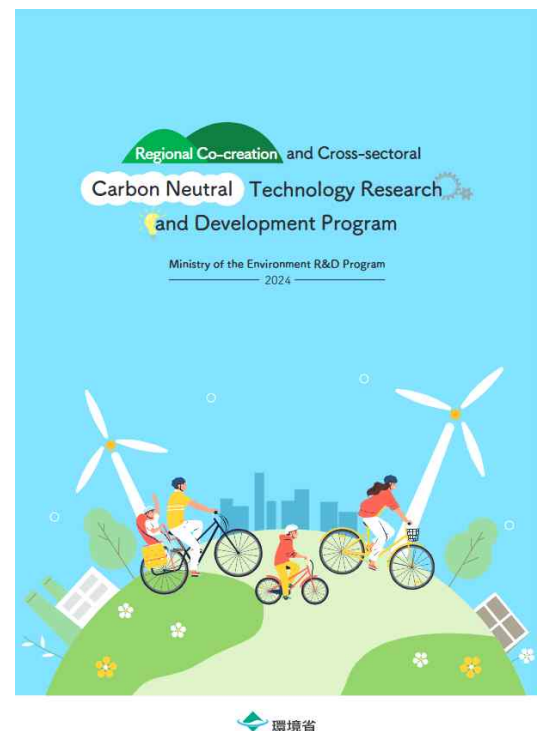
[그림 19. Green Innovation Fund 운영체계]



[그림 20. Green Innovation Fund 지원대상]



[그림 21. 환경성 탄소중립 기술 프로그램 2024년 보고서]



67) Overview of the Green Innovation Fund Projects, NEDO, (<https://green-innovation.nedo.go.jp/en/about/>, 2025년 5월 25일 접속)

68) Ibid.

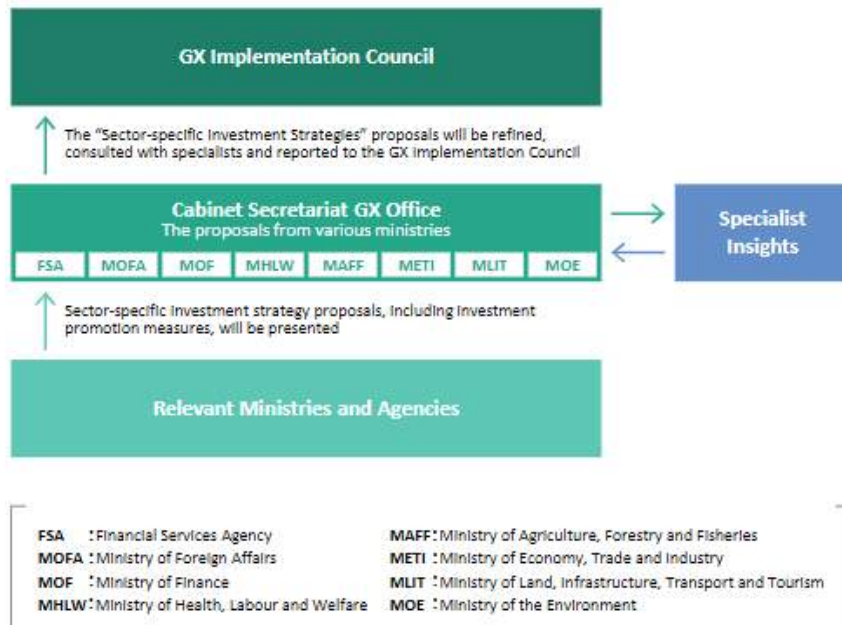
69) Carbon Neutral Regional Co-creation and Cross-sectoral and Development Program, 2025, 일본 환경성

[illegible]

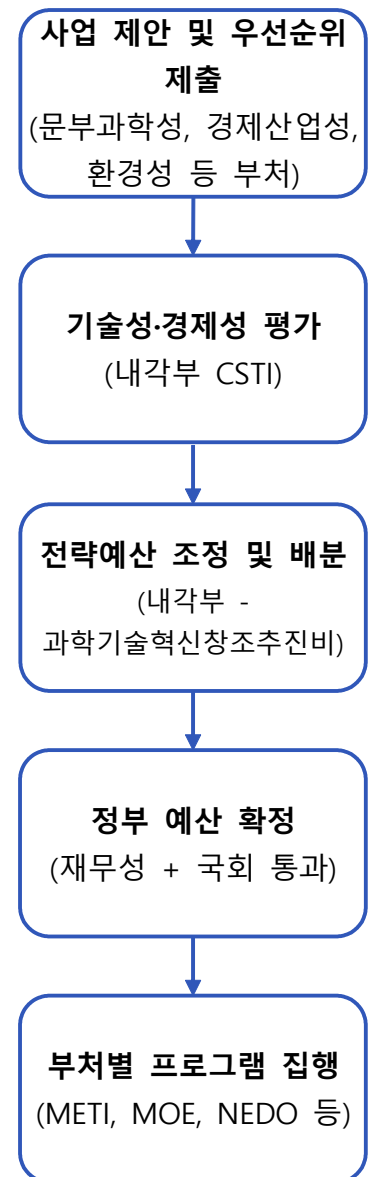
일본의 탄소중립 R&D 예산 편성 및 집행 구조는 오른쪽 그림과 같다. 내각부(특히 종합과학기술·혁신회의, CSTI) 중심의 전략적 기획과 조정 아래, 임무지향형 프로그램 예산화, 부처간 협업, 대형 기금(그린이노베이션펀드 등) 및 GX 경제이행채 등 다층적 재원조달 체계로 구성되어 있다. 예산은 내각부, 문부과학성(MEXT), 경제산업성(METI), 환경성(MOE) 등 주요 부처가 협력해 집행하며, 범부처형 임무프로그램(SIP 등)과 부처별 특화 프로그램(예: NEDO의 Green Innovation Fund, 환경성의 탄소중립 기술 프로그램)으로 나뉜다. 특히, 그린이노베이션펀드는 2021~2030년 총 2조 엔 규모로 신에너지·산업기술종합개발기구(NEDO)에서 운영되고, 환경성의 탄소중립 기술 프로그램은 2023년 기준 약 40.8억 엔이 배정되는 등, 대형·장기 프로젝트와 지역 맞춤형 단기 실증사업이 병행되는 구조다. 최근에는 GX 경제이행채(10년간 20조 엔) 발행을 통한 대규모 선행 투자와, 탄소가격제(배출권거래제, 탄소부과금) 등 시장 기반 재원조달 메커니즘이 결합되면서, 민관 합동 투자와 성과 중심의 예산 집행이 강화되고 있다. GX의 예산 결정 구조는 아래 그림과 같다.⁷⁰⁾

037

[그림23. GX 예산결정구조]



[그림24. 탄소중립 R&D 예산 결정 구조]



4. 일본 탄소중립 R&D 정책의 구조와 예산운용 체계

일본은 2050년 탄소중립과 2030년 온실가스 46% 감축이라는 명확한 국가 목표를 설정하고, 이를 실현하기 위해 기술혁신을 핵심 전략으로 삼고 있다. 2020년 '2050 탄소중립 선언' 이후 경제산업성(METI) 주도의 '녹색성장전략'과 2023년 'GX(그린 트랜스포메이션) 추진전략'을 양대 축으로, 수소·암모니아, 해상풍력, 차세대 배터리, CCUS 등 14개 중점 분야에서 세계 최고 수준의 탈탄소 기술 확보와 산업경쟁력 강화를 동시에 추구하고 있다.⁷¹⁾

예산 구조는 내각부(특히 종합과학기술·이노베이션회의, CSTI) 중심의 전략적 조정, 임무지향형 프로그램 예산화, 부처 간 협업, 그리고 그린이노베이션펀드와 GX 경제이행채 등 대형 기금 및 시장 기반 재원조달 수단을 결합한 다층적 체계로 이뤄진다. 예산 편성은 각 부처가 사업 제안과 우선순위를 제출하면 CSTI가 전략적 평가·조정을 거쳐 재무성 및 국회 심의를 통해 최종 확정하고, 부처별 특화 프로그램(예: NEDO의 Green Innovation Fund, 환경성의 탄소중립 기술 프로그램)과 범부처 임무형 사업에 집행된다. 최근에는 GX 경제이행채(10년간 20조

71) Pathways to Japan's Green Transformation (GX), 2022, 일본 경제산업성

엔) 발행, 배출권거래제(GX-ETS), GX-서차지(탄소부과금) 등 민간 합동 투자와 성과 중심의 예산 집행이 강화되고 있다.

대표 프로그램으로는 2021~2030년 총 2~3조 엔 규모의 그린이노베이션펀드(수소, 해상풍력, 배터리, CCUS 등 대형 실증·상용화 지원)와, 연간 40~50억 엔 내외의 환경성 탄소중립 기술 프로그램(지역 맞춤형 실증·혁신 지원)이 있다. 요약하면, 일본의 탄소중립 R&D 예산 체계는 국가 전략 목표와 기술혁신을 연계하는 임무지향형·성과중심 구조, 내각부 중심의 조정과 부처 간 협업, 대형 기금 및 시장 기반 재원조달의 결합, 그리고 민간 투자 유인과 지역균형 발전, 국제협력 강화라는 특징을 갖는다. 이러한 구조는 일본이 탄소중립 실현과 산업경쟁력 강화를 동시에 달성하기 위한 재정적·제도적 토대를 마련하고 있음을 보여준다.

정책 제언

[표 4. EU, 미국, 일본 탄소중립 R&D 정책 비교표]

구분	EU	미국	일본
정책 목표	2050년 탄소중립 목표 법제화	탄소중립 목표 법제화 X (바이든 행정부, 탄소중립 추진), 트럼프 2기, 정책 변동 가능성 존재	2050년 탄소중립 목표 설정
R&D 방향성	기후 법제화, 지속 가능한 산업 전환	제조업 경쟁력 강화, 에너지 시스템 혁신	GX 전략 통한 산업 구조 전환
우선순위 원칙	EU 기후법 목표(2030, 2050) 부합	비용 절감, 기술 상용화 중심, 민관 협력	14대 중점 산업 중심 투자
주요 투자 분야	수소 경제, 디지털 기반 온실가스 감축, 순환 경제 기술	에너지 어스샷, 청정 에너지 솔루션 (수소, ESS), CCUS, 온실가스 감시 기술	수소, CCUS
주요 정책/프로그램	EU 기후법, Fit for 55 패키지, Horizon Europe	IRA, Energy Earthshots Initiative	GX 전략, 수소 기본 전략

1. 기후기술 R&D의 '임무지향형 전환'을 통한 구조적 대응 필요

주요국은 단순 기술개발이 아닌 사회구현형 (mission-oriented) 구조를 강화하여 탄소중립과 동시달성 가능한 산업·경제 전환을 추구하고 있다. 한국도 '기후정책-기술개발-투자 메커니즘' 간 삼중 연계 전략 마련이 필요하며, 기획·실증·확산 단계별 연동된 지원체계 구축이 중요하다.

2. '전략예산' 기능 강화 및 조정역량 확대

일본의 CSTI나 미국 OSTP-NSTC처럼, 범부처 기술 전략과 예산을 종합·조정할 수 있는 컨트롤타워 역할이 중요하다. 현재 한국의 범부처 기술기획 기능은 한계가 있어, 대통령직속 형태의 과학기술혁신조정기구 신설 또는 기존 국가과학기술자문회의의 기능 강화가 요구된다.

3. 부처 간 역할 분담 명확화 및 '지역형 탈탄소 기술 실증' 확대

일본 환경성(MOE)의 역할처럼 지역사회와 연계된 실증 기반 기술개발 모델 확산 필요하다. 현재 중앙정부 중심의 R&D 구조를 지방정부·지자체와 연계한 탈탄소 기술 보급모델로 보완할 필요가 있다.

4. 민간 연계형 R&D 펀딩 구조 도입

EU 및 일본의 사례처럼 민간 참여를 조건으로 한 기금(예: NEDO)의 활용이 활발하며, 기업이 실제 R&D를 주도할 수 있는 구조 필요하다. 국내 탄소중립기술 사업화 실패의 원인 중 하나는 '실증과 상용화 단절'로, 이를 극복하기 위한 민간 연계형 R&D 기금 및 인센티브 제도 설계가 요구된다.

5. '예산 투명성' 확보를 위한 녹색예산(Green Budgeting) 체계화

EU는 기후대응 관련 예산을 명시적으로 분류하고, 녹색예산 편성 기준 및 비중을 정례화 한다. 한국도 향후 국가예산 구조 내 기후예산 비중과 기준을 명확히 설정하고, 부처별 예산 평가시 '기후기여도'를 반영할 수 있는 체계 도입 필요하다.

부록: 전문가 세미나

I 트럼프 2기 행정부의 기후변화·에너지 정책 변화 전망

(2025년 2월 21일, 홍정석(KISTEP), 이영준(KAERI))

1. 트럼프 2기 행정부의 정책 방향

트럼프 2기 행정부는 바이든 행정부와 뚜렷한 차이를 보이는 기후변화 및 에너지 정책을 추진할 것으로 전망된다. 트럼프 1기와 유사하게, 바이든 행정부의 에너지·환경 규제를 철폐하고 파리 기후 협약에서 재탈퇴하며, 화석 연료 중심의 에너지 우위 정책을 추진할 것을 공약했다.

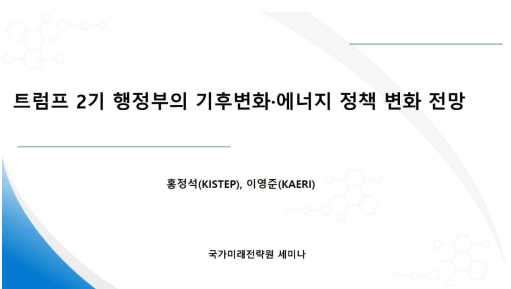
2. 트럼프-바이든 행정부의 정책 비교

트럼프 1기 행정부는 오바마 정부 시기의 환경 규제를 완화하고, 파리기후협약으로 대표되는 국제적인 기후변화 대응 노력을 배척했으며, 화석 연료 중심의 에너지 자립 전략을 추진하였다.

이와 대조적으로 바이든 행정부는 탄소중립과 청정에너지를 핵심 정책 기조로 삼고, 인플레이션 감축법(Inflation Reduction Act, IRA) 등 친환경 정책을 적극 추진하면서 화석 연료 이용을 억제하는 방향으로 전환하였다.

트럼프 2기 행정부는 바이든 행정부의 환경 및 에너지 규제를 철폐하고 파리기후협약에서 재탈퇴하는 등 화석 연료 중심의 '미국 우선주의' 정책으로 회귀할 것으로 전망된다.

[그림 25. 전문가 세미나 현장 사진]



3. 미국의 원자력 정책 변화

트럼프 및 바이든 행정부는 모두 원자력 기술 리더십 회복 및 원자력 산업 경쟁력 확대를 추진하나, 그 강조점에 차이가 있다. 트럼프 행정부는 에너지 안보와 물가 안정에, 바이든 행정부는 기후변화 대응에 중점을 둔다. 미국은 원자력 R&D 전략을 선진 원자력 기술의 실증 및 배치에 집중하는 방향으로 전환하고 있다.

4. 요약 정리

[표 5. 미국 행정부별 정리]

	트럼프 1기 행정부	바이든 행정부	트럼프 2기 행정부 (예상)
정책 기조	- 오바마 행정부의 환경 정책 폐지 및 완화 - 국제적인 기후변화 대응 노력 배척 - 화석 연료 중심의 에너지 자립 추진	- 탄소중립 및 청정에너지 강조 - 기후 위기 대응에 대한 미국의 국제 리더십 강조 - 인플레이션 감축법(IRA) 등 친환경 정책 추진	'에너지 우위' 전략: 화석연료, 원자력 등 에너지자원 최대 활용 - 바이든 행정부의 환경 규제 철폐 및 완화 - 미국 우선주의: 에너지 안보 및 물가 안정 우선
기후변화 대응	- 파리기후협약 탈퇴 - 환경 규제 완화 중심 - 재생에너지 확대 추세와는 무관	- 파리기후협약 재가입 2035 NDC 목표 제출(2005년 대비 온실가스 순배출 61~66% 감축) - 청정에너지 인프라 투자	- 파리협정 재탈퇴 예고 - IRA, 그린 뉴딜 폐지 시도 - 에너지 생산 제한 해제, 전기차 의무화 폐지 등

		확대 • 에너지 어스샷 이니셔티브	
R&D 정책 방향	• 에너지 분야 규제 완화 및 민간 자율 강조	• 청정에너지 기술 개발 가속화 추진 • 핵심기술 및 안보 중심의 소규모 다자간 협력 확대	• 예산 효율화 강조 • 민간 중심, 규제 완화 통한 기술 개발 유도
원자력 정책	• 원자력 기술 국제 경쟁력 회복 강조 • 규제 완화, 소형원자로(S MR) 등 지원	• 기후변화 대응 및 에너지 안보를 위해 선진 원자로 개발 및 원전 이용 지원 • 실증·인프라 예산 확대	• 원전은 경제·안보 수단으로 계속 지원(저렴한 에너지의 독립적인 공급) • 규제 간소화 및 민간 투자 확대

5. 한국에 대한 시사점

미국의 기후변화 및 에너지 정책 변화는 한국에 다양한 영향을 미칠 수 있으므로, 관련 정책 동향을 면밀히 분석하고 대응 전략을 마련하는 것이 중요하다. 특히, 미국의 원자력 정책은 한국의 원자력 산업에 중요한 참고자료가 될 수 있다.

[그림26. 전문가 세미나 현장사진]

2025. 02. 27(목) 서울대학교 세미나

탄소중립 분야 글로벌 R&D 정책 동향

국가녹색기술연구소 제도혁신센터

전은진 선임연구원

NATIONAL INSTITUTE OF GREEN TECHNOLOGY
함께 누리는 기후기술,
미래 만드는 미래



II 탄소중립 분야 글로벌 R&D 정책 동향

2025년 2월 27일, 전은진 (NIGT)

1. 글로벌 기후변화 대응 배경

전 지구적 차원의 기후변화 대응은 산업화 이후 급증한 화석연료 기반의 온실가스 배출을 주요 원인으로 인식하면서 본격화되었다. 이에 따라 국제사회는 1992년 유엔기후변화협약(UNFCCC)을 채택하며 기후변화 대응의 제도적 기반을 마련하였고, 이후 1997년 교토의정서를 통해 선진국 중심의 온실가스 감축 체제를 수립하였다. 그러나 기후위기의 심화와 대응의 보편성 필요성이 대두되면서, 2015년 채택된 파리협정은 선진국과 개발도상국을 구분하지 않고 모든 국가가 감축에 참여하는 신기후체제(post-2020 regime)를 구축하였다. 파리협정은 자발적 기여(NDC)를 중심으로 한 탄소중립 목표 설정과 이행 메커니즘을 통해 전 지구적 대응의 일관성과 포용성을 제고하는 전환점을 마련하였다.

2. 법제화를 통한 탄소중립 의무화

주요국들은 탄소중립 달성을 단순한 정책 목표가 아닌 법적 의무로 격상시키며 기후행동의 실효성을 강화하고 있다. 유럽연합(EU)은 2050년 탄소중립 달성을 「유럽기후법(European Climate Law)」에 명시하였으며, 독일은 이를 앞당겨 2045년까지의 달성을 법제화하였다. 프랑스, 영국, 일본 역시 2050년을 기준으로 탄소중립을 국가의 법적 책무로 규정하고 있다. 이러한 흐름은 국제적인 기후 거버넌스 체계에서도 제도적으로 뒷받침되고 있으며, 파리협정 제14조에 따라 2023년부터 모든 당사국의 이행 상황을 주기적으로 점검하는 '전지구적 이행점검(Global Stocktake)'이 시행되고 있다. 이 제도는 각국의 감축 노력과 진전 상황을 투명하게 평가하고, 이를 토대로 향후 국가 온실가스 감축목표(NDC)의 상향 조정과 국제적 협력 강화를 유도하는 핵심 수단으로 기능하고 있다.

3. 주요국 탄소중립 R&D 전략

미국은 아직 탄소중립 목표를 법제화하지는 않았지만, 인플레이션 감축법(IRA)과 American Jobs Plan 등을 통해 청정에너지 전환 기반을 적극적으로 마련하고 있다. 에너지부(DOE)는 '에너지 얼셋 이니셔티브(Energy Earthshots Initiative)'를 통해 수소, 장기저장, 산업열, 탄소제거(CDR) 등 8대 기술 미션을 선정하여 전략적 투자를 확대하고 있으며, 전기차, 메탄 감축 기술 등과 함께 국가적 우선과제로 지정하고 있다.

독일은 후쿠시마 원전 사고 이후 탈원전 및 탈석탄 기조를 강화하며 에너지 전환(Energiewende)을 가속화해왔다. 2023년에 발표된 제8차 에너지연구프로그램에서는 '에너지시스템 2045', '열 전환 2045', '전력 전환 2045', '수소 2030', '기술이전(Transfer)' 등 5대 미션을 제시하였으며, 개별 기술 단위보다는 시스템 통합을 중심으로 한 R&D 방향을 지향하고 있다.

프랑스는 'France 2030' 국가 투자계획을 통해 수소, 차세대 원전, 산업 탈탄소화를 포함한 6대 핵심 기술 분야를 집중적으로 지원하고 있으며, PIA(Investments for the Future Program) 프로그램과 '혁신가속화전략'을 통해 에너지 및 생태전환 기술에 대한 R&D 투자를 확대하고 있다. 특히 프랑스는 원자력, 태양광, 바이오에너지 순으로 높은 R&D 투자 비중을 보이며, 탄소중립 달성을 위한 기술 포트폴리오를 전략적으로 구성하고 있다.

일본은 '2050 탄소중립 녹색성장전략'을 수립하고 수소, 해상풍력, 이차전지 등 14개 중점 산업을 지정하여 기술개발과 산업 육성을 병행하고 있다. 탄소제거, CO₂ 흡수 건축자재 등 도전적 목표를 설정한 '문샷형 R&D'를 추진하고 있으며, GOSAT 위성을 활용한 MRV(모니터링·보고·검증) 고도화도 병행하고 있다. 또한, 산업기술종합개발기구(NEDO)를 중심으로 약 2조 엔 규모의 그린이노베이션 기금을 조성하여 중장기적 기술혁신 기반을 마련하고 있다.

4. 탄소중립 R&D 주요 트렌드

탄소중립 R&D는 에너지 전환을 넘어 산업, 감시, 자원 순환 등으로 확장되며 다층적 기술 혁신을 중심으로 전개되고 있다. 최근에는 저궤도 위성 등을 활용한 MRV(모니터링·보고·검증) 기술 고도화가 진행되고 있으며, 2차전지·태양광 등의 재활용을 고려한 순환경제형 기술 개발도 강화되고 있다. 수소경제 확산을 위한 청정수소 인증제 도입과 전주기 기술 투자, 산업 부문 탈탄소화를 위한 BECCS, DAC 등 탄소제거 기술 확대도 주요 흐름이다. 아울러 메탄, HFC 등 비CO₂ 온실가스에 대한 대응 기술도 함께 주목받고 있다.

5. 요약 정리

[표 6. 국가별 정책 정리]

국가	정책기조	핵심 R&D 분야	주요계획/법제	특징
미국	IRA 등 인프라 기술 중심의 경기부양책	수소, CDR, 장기저장, 산업역, DAC 등	Energy Earthshot (DOE 중심)	제조업 육성과 기술혁신을 통한 탈탄소
프랑스	France 2030 및 에너지전환 전략	수소, 원전, 재생에너지, 산업탈탄소화	France 2030, 혁신가속화 전략	에너지 디지털 융합 기술 다수 포함
독일	Energiewende 와 에너지연구프로그램	에너지 시스템 통합, 수소, 열전환	제8차 에너지연구 프로그램 (2023)	시스템 기반 통합연구, 탈석탄 명확화
일본	녹색성장전략과 문샷형 R&D	수소, 재생에너지, 2차전지, CCUS, MRV	2050 탄소중립, 녹색성장전략, 문샷 R&D	기술축적 기반의 해외진출 전략 병행

III EU 국가의 탄소중립 정책 동향: 독일의 기후변화 대응 R&D 정책 및 프로그램 중심으로

2025년 2월 27일, 하수진 (NIGT)

1. 정책 체계와 배경

독일의 탄소중립 연구개발 정책은 명확한 법제 기반과 상위 전략에 뿌리를 두고 체계적으로 추진되고 있다. 「기후보호계획 2050(Klimaschutzplan 2050)」과 「기후보호프로그램 2030(Klimaschutzprogramm 2030)」은 국가 차원의 온실가스 감축과 에너지 전환 목표를 규정하고 있으며, 이러한 기후정책 방향은 「하이테크전략」과 「연구혁신미래전략」과 같은 과학기술 기반의 종합전략 속에서도 명시적으로 반영되어 있다. 독일의 에너지 연구는 1977년부터 정부 주도의 공식 프로그램으로 추진되어 왔으며, 이는 기초과학부터 실용기술까지 단계별로 연계된 장기적 연구 체계를 형성하는 데 중요한 토대를 제공해왔다. 최근에는 이러한 정책 기초를 반영하여, 2023년 11월에 제8차 에너지연구프로그램이 새롭게 발표되었으며, 이를 통해 향후 탄소중립 달성을 위한 기술혁신 방향성과 투자 우선순위가 보다 구체화되었다.

2. 부처별 역할

독일의 탄소중립 R&D 체계는 기술 성숙도에 따라 부처별 역할이 명확히 구분되어 있다. 연방교육연구부(BMBF)는 기술개발 초기 단계에 해당하는 TRL 19 수준의 실증 및 상용화 연구를 담당하며, 연구 성과의 산업 적용과 확산에 중점을 두고 있다. 2023년 11월에 발표된 제8차 에너지연구프로그램에서는 원자력 기술을 지원 대상에서 제외하는 대신, 핵융합 기술에 대해서는 예외적으로 연구지원을 유지하기로 하였다. 이에 따라 에너지 R&D 예산은 원자력을 제외한 전체 비원자력 기술 분야에 집중 배정되고 있으며, 재생에너지, 에너지 저장, 수소, 전력망 등 탄소중립 전환을 위한 핵심 분야에 전략적으로 투자되고 있다.

[그림 27. 전문가 세미나 현장 사진]



3. 보완 정책 및 기술별 전략

독일은 탄소중립 전환을 가속화하기 위해 주요 기술 분야별로 구체적인 보완 정책과 실행 전략을 마련하고 있다. 태양광 분야에서는 기술 적용 방식의 다변화를 통해 보급 확대를 추진하고 있으며, 지붕형 설비는 물론 임차인을 위한 공유형 시스템, 발코니 설치형 소규모 태양광 등 다양한 설치 형태가 활성화되고 있다. 또한 계통 연계, 공급망 안정화, 기술개발 촉진 등 11개 분야별 행동 과제가 병행 추진되고 있다.

풍력 분야에서는 2035년까지 해상풍력 70GW 구축을 목표로 설정하고 있으며, 육상풍력 발전의 경우 전체 국토의 2%를 해당 용도로 확보한다는 계획을 수립하였다. 이를 실행하기 위해 리파워링, 입지 승인 절차의 간소화, 지역 수용성 제고 등 12개 핵심 행동 분야를 중심으로 전략적 접근이 진행되고 있다.

수소는 독일의 에너지 전환 전략에서 핵심 열쇠로 간주되고 있다. 2030년까지 10GW 규모의 수전해 설비를 구축해 국내 생산 역량을 확보하는 한편, H2Global 프로그램을 통해 다양한 해외 공급선을 확보함으로써 수입 구조의 다변화도 동시에 추진되고 있다. 인프라 측면에서는 1,800km 규모의 국내 수소 파이프라인과 더불어 4,500km에 이르는 유럽 연계 수소망이 구축될 예정이다. 수소의 활용은 산업, 운송, 전력, 난방 등 다양한 부문에 걸쳐 실증적으로 적용되고 있으며, 이를 뒷받침하기 위해 인증체계, 표준 정립, R&D 장기 재정지원 등 제도적 기반도 정비되고 있다.

대표적인 실증 프로젝트로는 무크란(Mukran)에서 진행 중인 고압 수소 저장 탱크 개발과, 헬골란트(Helgoland) 지역에서의 액상유기수소화합물(LOHC)을 활용한 수소 운송 및 회수 플랜트 구축이 있다. 이외에도 독일은 유럽연합의 중요 프로젝트(IPCEI: Important Projects of Common European Interest)에 적극 참여하고 있으며, 수전해 및 연료전지 기술을 중심으로 한 Hy2Tech, 저장 및 인프라 구축을 위한 Hy2Infra, 수소 기반 운송 솔루션을 개발하는 Hy2Move 등 여러 다자간 공동 프로젝트를 통해 기술혁신과 시장 조성을 병행하고 있다.

4. 요약 정리

[표 7. 독일 탄소중립 정책 정리]

미션	핵심 내용 및 목표	2023~30 주요 목표
에너지시스템 2045	통합 에너지시스템의 비전 수립 및 안정성 효율 회복탄력성 강화	- 30년까지 지역별 통합 인프라 계획 수립 - 순환경제 및 기후중립 제품 설계 포함
열 전환 2045	난방·냉방의 탈탄소화	- 히트펌프, 중심부 지열, 재생에너지 기반 지역 열공급 - 신형 단열재로 에너지 절감
전력 전환 2045	재생에너지 기반의 안정적인 전력망 전환	- 30년 15MW 급 풍력기 개발 - 태양광 전 가치사슬 확보 - 안정적 탈석탄 전력망 운영
수소 2030	수소 전주기 (생산-활용)의 확립과 산업전환	- 30년 수전해 비용 400€/kW 이하 - LOHC 연료전지 기술 대규모 실증 - 수소로드맵, H2Global 플랫폼 가동
이전(Transfer)	기술 이전, 실증 중심 리빙랩, 민첩한 자금제도	- SPRIND 협력 통한 애자일 자금 지원 - 여성 참여 증가, 다학제 융합, TRL 다양성 고려