

미국 NDC 및 넷제로 달성을 위한 국가 혁신 경로 (National Innovation Pathway of the United States)

1. 개요	01
2. 혁신 경로 내 중점 기술분야	02
- 첨단 배터리, 첨단 원자력	02
- 첨단 태양광, 지열 시스템	03
- 수소, 산업 탈탄소화	04
- 장주기 에너지 저장, 해상 풍력, 지속가능항공유	05
3. 정리 및 시사점	06
참고문헌	07



1. 개요

● 미국 정부는 '30년 NDC 달성 및 장기 기후 전략(Long-Term Climate Strategy of the United States)의 실행을 지원하기 위한 **국가 혁신 경로(National Innovation Pathway of the United States)**¹⁾를 발표('23.04)

※ 백악관 과학기술정책국(White House Office of Science and Technology Policy)과 에너지부(Department of Energy), 국무부(Department of State)가 공동으로 발표

- (의의) 관련 법령, 국가 로드맵 및 정책, 중점 기술분야 및 목표, 기술분야별 투자현황, 관련 부처·기관의 역할 및 담당 분야 등을 정리하여 미국 내 청정에너지 기술 혁신에 관한 포괄적인 정보 제공
- (핵심전략) 넷제로 기술(Net-zero Technology) 확보를 위한 3대 주요전략으로 △혁신(Innovation), △실증(Demonstration), △확산(Deployment)을 명시

[국가 혁신 경로의 3대 전략 및 세부 내용]

전략	주요 내용	지원 방안
혁신(Innovation)	2050년에 넷제로를 안정적이고, 저렴하며, 공정하게 달성할 수 있는 기술 포트폴리오 확보	DOE 에너지 어스샷(Energy Earthshots™) 등
실증(Demonstration)	실증 프로젝트를 통해 시장의 기술 신뢰도를 향상, 신기술의 초기시장 진출 지원	초당적 인프라법(BIL) 인플레이션 감축법(IRA)
확산(Deployment)	규제·인센티브 등을 활용하여 현재 기 확보한 기술의 제조·배포·채택을 가속화, 핵심소재·부품 공급망 확보 등을 지원	초당적 인프라법(BIL) 인플레이션 감축법(IRA) 대출 프로그램 사무소(LPO)

- (중점기술) 넷제로 달성에 중요하나 상용화를 위해 추가적인 혁신이 필요한 16개 기술분야 제시 및 분야별 관련 기술, 기술개발 및 실증·상용화 목표, 투자 현황 및 관련 정책 서술
 - (이행점검) 기술혁신의 이행점검을 위하여 마일스톤 점검, 비용·성능 목표 달성도, 특허, 논문 및 인용, 민간 부문 투자 수준, 기술개발 연계 창업 및 수익창출 등 다양한 지표를 제시
 - (민간참여 촉진) 미국의 청정에너지 혁신을 위한 민·관 협력을 강조하며, 기술의 시장 진입을 촉진하기 위한 정부와 기업의 파트너십, 기술이전 및 창업 지원 등을 통한 민간 부문의 혁신 지원
 - (국제협력) 미국 정부는 국가 혁신 역량의 지속과 글로벌 리더십 강화를 위해 국제 파트너십 및 협력을 중시하며, 청정에너지 혁신을 위한 양방향 협력을 추진하고 이를 실현하기 위한 실무그룹 등 운영
- 본 브리프를 통해서는 '국가 혁신 경로' 내 중점기술 중 '청정에너지 생산 및 저장' 관련 9개 기술 분야에 대한 정책 동향을 정리하고, 국내 기술개발 정책 수립을 위한 시사점을 도출하고자 함
- (포함) ①첨단 배터리, ②첨단 원자력, ③첨단 태양광, ④지열 시스템, ⑤수소, ⑥산업 탈탄소화, ⑦장주기 에너지 저장, ⑧해상 풍력, ⑨지속가능항공유
 - (그외) ①CCUS, ②탄소제거, ③청정 선박, ④청정 대형차량, ⑤메탄 저감, ⑥넷제로 건물, ⑦핵융합

1) White House OSTP, DOE, DOS, National Innovation Pathway of the United States, 2023. 4. 20

2. 혁신 경로 내 중점 기술분야

① 첨단 배터리(Advanced Batteries)

● 미국-파트너 간 안정적인 배터리 원자재 및 기술 공급망을 구축, 이를 통해 미국의 장기적인 경제경쟁력 강화 및 공정한 일자리 창출·탈탄소화·사회정의 구현·안보 강화 등 목표 달성

○ (정책) 에너지부(DOE)는 자국 내 독립적인 리튬 배터리 공급망 구축을 통한 기후변화 대응 및 일자리 창출을 위해 '국가 리튬 배터리 청사진(National Blueprint for Lithium Batteries) 발표 및 5대 추진전략 제시²⁾

5대 추진전략	주요 내용
배터리 금속 및 핵심 광물 확보	원자재와 정제된 소재로의 접근성을 보장하고, 경제·안보적 핵심 광물 대안 탐색
배터리 금속 및 핵심 광물 가공 산업 생태계 구축	미국 배터리 제조 수요 충족을 위해 자국 내 소재 처리 기반(인프라) 성장지원
배터리 셀·팩 제조 공장 확충	전극, 배터리 셀, 포장 제조 부문 발전 지원
사용후배터리(EOL, End of Life) 재사용·재활용 산업 활성화	사용 후 배터리 활용 및 소재 대규모 재활용 지원 등을 통해 자국 내 공급망 경쟁력 강화
R&D, STEM 교육 및 일자리 개발 지원	미국의 배터리 기술 리더십 유지·강화를 위해 지원

※ 기술개발 목표: (DOE EV Battery Goals) EV용 배터리 가격 ≤ \$100/kWh, 주행거리 ~ 300마일, 충전시간 ≤ 1분 (National Battery Supply Chain Goal) '30년까지 안정적인 배터리 원자재 및 기술 공급망 확보

○ (투자) DOE 내 자동차기술사업부(Vehicle Technologies Office)를 통해 4.2억 달러 투자(FY22 기준), 초당적인프라법을 통해 사용후배터리 재사용·재활용 분야에 총 3.25억 달러 투자(FY22-26 기준)

② 첨단 원자력(Advanced Nuclear)

● 미국의 에너지·환경·경제 문제 해결에 기여할 수 있는 차세대 원자력 기술 확보를 위해 소형모듈원자로(SMR) 등 차세대 원자로 도입, 차세대 핵연료 주기 개발 등을 지원

○ (정책) DOE 원자력국(Office of Nuclear Energy)은 미국의 원전 지원, 차세대 원자력 기술 실증 및 신규 시장 진출 계획을 담은 '원자력 전략 비전(DOE-NE Strategic Vision)'을 발표 및 5대 추진전략 제시³⁾

5대 추진전략	주요 내용
가동 중인 원전의 계속 운전 유지	원전 가동비용 저감 기술 개발, 전력부문 외 신시장 개척, 원전 계속 운전 유지를 위한 과학적 근거 마련
차세대 원자로 도입	차세대 원전 기술 도입에 필요한 리스크 저감 및 시간 단축, 신시장 개척형 원자로 개발, 자원 활용률이 향상된 다양한 차세대 원자로 설계
차세대 핵연료 주기 개발	미국 핵연료 공급망 강화, 차세대 핵연료 주기 개발, 종합 폐기물 관리 체계 마련
미국의 원자력 리더십 유지	미국 원자력 부문의 세계 시장 진출 촉진, 세계 최고 수준 R&D 역량 유지, 미래 원자력 인력 양성
원자력국 조직 역량 강화	원자력국 인력 지원 및 투자 강화, 프로그램·프로젝트·R&D투자·계약 관리 효율화, 이해관계자와의 정기적 의사소통 추진

※ 기술개발 목표: DOE의 '차세대 원자로 실증 프로그램(Advanced Reactor Demonstration Program)'을 통해 '20년대 중반까지 2개 실증 추진을 추진

○ (투자) DOE 내 원자력국을 통해 16억 달러 투자(FY22 기준), 인플레이션감축법을 통해 국가연구실 지원과 고순도 저농축 우라늄(HALEU) 공급 안정화에 각각 3.67억 달러 및 7억 달러 투자(FY22-27 기준)

2) Department of Energy, National Blueprint for Lithium Batteries, 2021.06

③ 첨단 태양에너지(Advanced Solar)

- 미국의 청정 에너지 목표 달성 및 기후위기 해결에 첨단 태양에너지 기술이 근본적인 역할을 할 것으로 기대, 태양광·집광형 태양열 발전(CSP)·시스템 통합 기술 개발, Soft 비용 절감, 제조 및 경쟁력 강화 등 지원
- (정책) DOE 에너지효율·재생에너지국(EERE)은 태양에너지 기술의 발전 및 확산 가속화를 위해 다년도 RDD&D 프로그램 계획을 발표 및 4대 추진전략을 제시⁴⁾

4대 추진전략	주요 내용
저비용 전력 생산	<ul style="list-style-type: none"> 태양광 발전 전력생산 비용 절감 집광형 태양열 발전(CSP) 전력 생산 비용 절감 유연성 향상을 통한 그리드 통합 비용 절감
안정적 전력 생산	<ul style="list-style-type: none"> 전력계통의 신뢰성 향상 지원 그리드의 탄력성 및 보안 강화
신속한 확산	<ul style="list-style-type: none"> 미국 태양광 산업 성장 및 신시장 개척 지원 태양에너지 생애주기(life cycle) 영향 감소 태양에너지 수익성 보장
전력 외 에너지 생산	<ul style="list-style-type: none"> 태양열 기술 활용 산업분야 온실가스 배출량 감축 태양열 기술 활용 연료 생산 방안 마련

※ 기술개발 목표: (DOE Sunshot Goals) '30년 태양에너지 가격(LCOE): 유틸리티 규모 태양광 ≤ \$0.02/kWh, 상용 태양광 ≤ \$0.04/kWh, 가정용 태양광 ≤ \$0.05/kWh, 집광형 태양열 발전(CSP) ≤ 0.05/kWh(남동부, 12시간 이상 열저장 기준)

- (투자) DOE 내 태양에너지기술부(Solar Energy Technologies Office)를 통해 2.9억 달러 투자(FY22 기준), 초당적인프라법을 통해 첨단 태양광 제조 기술, 재사용·재활용, RD&D·상용화 등에 0.8억 달러 투자(FY22 기준)

④ 지열 시스템(Enhanced Geothermal Systems)

- 미국 냉·난방 부문에서 지열펌프(GHP)는 '50년까지 2,800만개가 보급 가능할 것으로 예측되며, '50년까지 지열 활용 전력 생산량이 60GW_e 이상이 가능할 것으로 예상되는 등 지열 활용은 미국 탈탄소화에 기여 가능
- (정책) DOE 에너지효율·재생에너지국은 지열 시스템의 확산을 통해 '35년 무탄소 전력망 구축 및 '50년 넷제로 달성에 기여하고자 다년도 RDD&D 프로그램 계획을 발표 및 3대 전략 목표를 제시⁵⁾

3대 전략목표	주요 내용
무탄소 전력망 구축	<ul style="list-style-type: none"> 지열 시스템 공급 확산: ('50 목표) 발전용량 ~ 60GW 수열(hydrothermal) 자원 확보
건물 냉난방 탈탄소화	<ul style="list-style-type: none"> 지열 지역난방(Geothermal District Heating) 도입 확산: ('50 목표) 17,500대 지열 히트펌프(GHP) 가정 보급: ('50 목표) 28백만대
경제·환경·사회적 정의 실현	<ul style="list-style-type: none"> 지열 기술 확산을 통한 청정 에너지 일자리 확대 지역 간 환경 및 환경 문제 해결

※ 기술개발 목표: (DOE Enhanced Geothermal Shot) '35년까지 지열 활용 전력생산 시스템 가격 저감: ≤ \$45/MWh

- (투자) DOE 내 지열기술부(Geothermal Technologies Office)를 통해 1.1억 달러 투자(FY22 기준)

3) Department of Energy, DOE-NE Strategic Vision, 2021.01

4) Department of Energy, Solar Energy Technologies Office Multi-Year Program Plan, 2021.05

⑤ 수소(Hydrogen)

● 수전해 수소 생산, 재생에너지 및 탄소기반 공급 원료 활용 기술과 수소 활용을 위한 저장·인프라, 연료전지, 터빈, 연소, 시스템 분석 등 광범위한 기술개발 추진

● (정책) DOE는 청정수소 에너지 기술의 광범위한 실용화 및 안정적인 공급 기반의 수소경제 실현을 위해 '수소 프로그램(Hydrogen Program Plan)'을 통해 전환적 기술의 연구·개발·검증 지원⁶⁾

- (전략) 수소 생산·운송·저장·전환 관련 기술의 성능·내구성 향상 및 비용 감축, 기술·규제·시장 한계 극복, 수요·공급원의 격차 해소로 대규모 수소 기술 적용, 수소 활용 에너지 연계 시스템의 개발·검증, 수소의 새로운 활용 방안에 대한 가치 입증 등을 기반으로 다양한 부문의 기존·신규 수요에 대응

- (기술분야) 생산(수전해, 바이오매스 폐자원), 운송(튜브트레일러, 파이프라인, 액화수소, 수소캐리어, 수소 충전), 저장(압축, 소재), 전환(연소, 연료전지), 활용(교통, 산업공정, 발전, 하이브리드) 등을 기술개발 주요분야로 설정

※ 기술개발 목표: (DOE Hydrogen Shot) 10년 이내 청정수소 생산 \$1/kg 달성
 (DOE Delivery and Dispensing Goal) '30년까지 운반 및 충전 \$2/kg
 (DOE Storage Goal) '30년까지 저장 비용 \$9/kWh
 (DOE Electrolyzer Goal) 수전해 \$150/kW, 73% 효율, 8만 시간 내구성 확보
 (DOE Fuel Cells for Heavy-duty Trucks Goal) 대형 트럭 연료전지 \$80/kW, 2만 5천 시간 내구성

● (투자) DOE 내 수소연료전지기술부(H₂ and Fuel Cell Technologies Office)를 통해 1.58억 달러 투자(FY22 기준), 초당적인프라법을 통해 수전해 기술과 청정수소 생산·재활용에 각각 10억 달러 및 5억 달러 투자(FY22-26 기준)

⑥ 산업 탈탄소화(Industrial Decarbonization)

● 산업부문의 공정 열 생산 및 청정 열 통합과 주요 산업(제철, 시멘트, 화학 등) 부문에서 가격경쟁력을 갖춘 저탄소·무탄소 대체 기술 개발을 통한 탈탄소화 촉진

● (정책) DOE는 화학, 석유, 제철, 식품, 시멘트 등 5대 산업 부문의 탈탄소화를 위해 '산업 탈탄소화 로드맵(Industrial Decarbonization Roadmap)'⁷⁾ 발표 및 4대 추진전략 제시

4대 추진전략	주요 내용
에너지 효율 향상	에너지 효율 향상은 가장 비용효율적인 온실가스 배출 저감 방안으로, 전략적 에너지 관리, 시스템 관리 및 최적화, 스마트 제조 및 첨단 데이터 분석 등을 활용하여 효율성 향상
산업 전기화	제철, 시멘트 업계의 고온 공정 및 열 관련 공정의 전기화와 전기화학 공정으로의 대체, 그리드와 현장 재생에너지 발전의 저탄소 전기를 활용한 탈탄소 극대화
저탄소 에너지 활용	연료를 유연하게 활용하는 공정의 개발과 수소 연료의 적용, 바이오 연료의 활용 등을 통한 저탄소 연료 전환 및 공정 배출 최소화
탄소 포집, 활용, 저장	공정에서 발생하는 이산화탄소를 배출되는 지점에서 포집하고, 부가가치를 있는 제품으로 만들거나 장기적으로 저장

※ 기술개발 목표: (DOE Industrial Heat Shot) '35년까지 배출량을 85% 이상 저감하고 가격 경쟁력을 갖춘 기술 개발

● (투자) DOE 내 첨단제조부(Advanced Manufacturing Office)를 통해 4.16억 달러 투자(FY22 기준)

※ 청정에너지제조 혁신 연구소(Clean Energy Manufacturing Innovation Institute) 설립을 위한 7천만 달러 포함

5) Department of Energy, Geothermal Technologies Office Multi-Year Program Plan, 2022.02

6) Department of Energy, Hydrogen Program Plan, 2020.11

㉗ 장주기 에너지 저장(Long Duration Energy Storage)

● 장주기 에너지 저장을 위한 저비용 기술 개발

- (정책) 에너지 저장 분야에서 미국의 리더십 유지를 위해 시장으로의 기술전환 가속화, 대규모 기술 제조 등을 포함한 '에너지 저장 그랜드 챌린지 로드맵(Energy Storage Grand Challenge Roadmap)' 추진⁸⁾
- 연구 역량의 집중을 통한 다양한 에너지저장 기술범위*에 대한 혁신과 대규모 생산 및 공급망 강화로 2030년까지 미국 내 에너지 저장 수요를 자국 내 기술 제조로 모두 충당

* 전기화학, 전기기계, 열, 유연한 생산, 파워 일렉트로닉스 등

※ 기술개발 목표: (DOE Long Duration Storage Shot) 10년내(~'30) '20년리튬이온기준 대비 저장비용 90% 절감(\$0.05/kWh)

- (투자) DOE는 에너지저장 그랜드 챌린지 지원 등 관련 RDD&D 지원에 5억 달러 이상 투자(FY22 기준)

㉘ 해상 풍력(Offshore Wind)

● 해양 조건에 견고하며 환경 영향이 적고, 설치 및 그리드 연계성이 용이하며 효율이 향상된 해상 풍력 개발

- (정책) DOE와 내무부(DOI)는 자국 내 해상 풍력 산업 촉진을 위한 기술 위험성·비용 감소, 정부 역할 강화를 위해 '해상 풍력 개발 전략(National Offshore Wind Strategy)'을 공동으로 발표⁹⁾
- 해상 풍력의 가격경쟁력 확보 및 규제 개선을 통한 풍력 산업 확산 가속화

※ 기술개발 목표: (National Goal) '30년까지 30GW에 해당하는 해상 풍력 배치
(DOE Floating Offshore Wind Shot) '35년까지 심해해상풍력 비용을 70% 이상 절감(\$45/MWh)

- (투자) DOE 내 풍력에너지기술부(Wind Energy Technologies Office)를 통해 1.14억 달러 투자(FY22 기준)

㉙ 지속가능항공유(Sustainable Aviation Fuels, SAF)

● 모든 바이오매스 및 CO₂ 원료를 활용한 항공유 생산 및 신규 항공유 전환 경로 발굴

- (정책) DOE, 교통부(DOT), 농무부(USDA)는 SAF 비용 절감, 지속가능성 향상, SAF 생산·활용 확대를 위해 부처 간 협력을 통해 '지속가능항공유 그랜드 챌린지(SAF Grand Challenge)'를 추진¹⁰⁾

※ 기술개발 목표: (DOE SAF Grand Challenge) '30년까지 30억 갤런 SAF 생산(생애주기 배출량 50% 이상 감축), '50년까지 항공업계 수요 100% 충족 및 추가 항공유 전환 경로 승인

- (투자) DOE 내 바이오에너지기술부(Bioenergy Technologies Office)를 통해 2.62억 달러 투자(FY22 기준), 교통부(DOT)는 SAF 안전성 테스트 및 국제표준 개발 등 검증을 위해 미국연방항공국(FAA)에 0.16억 달러 투자(FY22 기준)

7) Department of Energy, Industrial Decarbonization Roadmap, 2022.09

8) Department of Energy, Energy Storage Grand Challenge Roadmap, 2020.12

9) Department of Energy·Department of the Interior, National Offshore Wind Strategy, 2016.09

10) Department of Energy·Department of Transport·U.S. Department of Agriculture, SAF Grand Challenge Roadmap, 2022.09

3. 정리 및 시사점

- 장기 기후 전략(Long-term Climate Strategy)¹¹⁾의 후속으로 발표된 **국가 혁신 경로**는 온실가스 감축목표 달성을 위한 **중점기술 분야 제시 및 관련 기술과 기술개발 목표, 투자 현황 등을 종합적으로 정리**
 - 장기 기후 전략에서 2050 탄소중립과 2030년 NDC 달성을 위한 **감축목표와 방향성**(전력 탈탄소화, 청정 연료 전환, 에너지 전환 등)을 제시하였으며, **국가 혁신 경로**는 이를 달성하기 위한 **구체적인 기술 제시**
 - 혁신기회 도출을 위한 **범부처 기후혁신 워킹그룹**(Climate Innovation Working Group)을 운영하며, 취합된 **부처별 혁신 우선순위를 기반으로 중점 기술분야 선정 및 기술개발 목표 설정 등 추진**
 - 미국의 탄소중립 달성을 위한 기술혁신에 대한 **정부의 투자는 대부분 에너지부를 통해 이뤄지고 있으며**, 기술개발 이외에도 실증, 확산 등 기술개발부터 시장진입까지 **전주기적 지원을 위한 투자를 강화**
 - **초당적 인프라법**(Bipartisan Infrastructure Law)은 청정수소·에너지저장·첨단원자력 등의 **실증 지원을 위한 215억 달러**와 청정에너지·대중교통, 전력망 고도화 기술 **확산을 위한 620억 달러** 등을 에너지부에 배정
 - **에너지부의 대출 프로그램 사무소**(Loan Program Office)는 **에너지 인프라의 저탄소화를 위한 2,500억 달러**와 **청정에너지·첨단교통 등의 기술 상용화 및 스케일업을 위한 1,000억 달러** 이상의 대출권을 보유
 - 미국은 기술의 시장진입을 위한 기술개발과 상용화의 간극을 채우기 위해 에너지부 내 **청정에너지실증부**(Office of Clean Energy Demonstrations)를 신설하고 **혁신기술의 대규모 실증을 지원**
 - **초당적 인프라법(BIL)**과 **인플레이션 감축법(IRA)**의 지원을 토대로 **에너지부와 산하 17개 국립연구소가 거점 역할**을 하며, 범부처적인 노력과 기업, 금융, 학계 등 **사회 전반에 걸친 참여를 통한 혁신생태계 마련 중요**
 - 기후위기 대응을 위해서는 기초연구부터 시장 적용까지 혁신 기반 마련을 위해 **공공·민간** 분야의 유관 기관 모두 핵심적인 역할을 하며, **국가 에너지 혁신생태계에 참여가 필수적임을 강조**
 - 국가 혁신 경로는 기술적 혁신을 넘어 **기술개발이 시장까지 유기적으로 이어지는 순환구조**를 위한 혁신주체별 역할 및 협력 등 **탄소중립 달성을 위한 제도적·사회적 기반의 최적화까지를 혁신의 범주로 포괄**
 - NDC 및 온실가스 감축목표 달성을 위한 **기술의 중요성을 강조**하고 혁신 기술개발부터 실증, 확산까지 기술 상용화까지의 **단계별 촘촘한 투자 및 촉진 방안 제시**로 **탄소중립에 실질적 기여**를 추구
- ※ 혁신 경로 내 기술개발(RD&D)은 연구개발(Research and Development)뿐만 아니라 실증(Demonstration)까지 포함하며 상용화를 위한 기술개발임을 강조

11) Department of State, Executive Office of the President, Long-term Climate Strategy of the United States, 2021.11

[참고문헌]

1. White House Office of Science and Technology Policy, Department of Energy, Department of State, National Innovation Pathway of the United States, 2023. 04
2. Department of Energy, National Blueprint for Lithium Batteries, 2021.06
3. Department of Energy, DOE-NE Strategic Vision, 2021.01
4. Department of Energy, Solar Energy Technologies Office Multi-Year Program Plan, 2021.05
5. Department of Energy, Geothermal Technologies Office Multi-Year Program Plan, 2022.02
6. Department of Energy, Hydrogen Program Plan, 2020.11
7. Department of Energy, Industrial Decarbonization Roadmap, 2022.09
8. Department of Energy, Energy Storage Grand Challenge Roadmap, 2020.12
9. Department of Energy, Department of the Interior, National Offshore Wind Strategy, 2016.09
10. Department of Energy, Department of Transport, Department of Agriculture, SAF Grand Challenge Roadmap, 2022.09
11. Department of State, Executive Office of the President, Long-term Climate Strategy of the United States, 2021.11

[저자]

한국에너지기술연구원 국가기후기술정책센터 조준묵/ Tel. 042-860-3549 / E-mail. junmuk@kier.re.kr
한국에너지기술연구원 국가기후기술정책센터 강주현/ Tel. 042-860-3717 / E-mail. jhkang@kier.re.kr

※ 본 "CT Brief"에 게재된 내용은 필자 개인(연구진)의 견해이며, 기관의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.
또한 본지의 내용을 인용할 때는 출처를 밝혀야 합니다.