



WORLD BANK GROUP



KOREA
GREEN GROWTH
TRUST FUND

KNOWLEDGE NOTE SERIES

녹색성장을 위한 지속가능 모델: 제주특별자치도의 에너지 전환 사례

제주특별자치도청 기후에너지정책과

GREEN
GROWTH IN
ACTION



서문



제주는 2012년 '카본프리아일랜드 2030' 비전을 선포하며 재생에너지 기반의 에너지 전환을 향한 여정을 시작했습니다.

지난 14년간 재생에너지 보급률을 국내 최고 수준으로 높였지만, 그 과정에서 계통 연계와 출력제어 등 전력망의 구조적 한계도 경험했습니다.

이러한 과정은 재생에너지 확대를 넘어 유연성 자원 중심의 에너지 대전환을 추진하는 소중한 자산이 되었습니다.

기후위기는 더 이상 미래의 과제가 아니라 지금 우리의 삶과 경제를 바꾸는 현실입니다. 동시에 새로운 성장을 위한 기회이기도 합니다.

이에 제주도는 '기후경제수도 제주'를 도정의 핵심 비전으로 제시하고, 재생에너지가 새로운 산업을 키우고, 산업이 지속가능한 일자리를 만들며, 그 성과가 도민의 삶과 에너지 복지로 이어지는 선순환 구조를 만들어가고 있습니다.

이를 실현하기 위해 그린수소와 히트펌프를 비롯한 섹터커플링 기술을 핵심 유연성 자원으로 삼아 에너지 대전환을 가속화하고 있습니다.

이번 보고서는 제주의 에너지 전환 경험을 국제사회, 특히 유사한 지리적·구조적 여건을 가진 개발도상국과 도서지역에 공유하기 위해 발간되었습니다.

풍력자원 이익공유기금 운용을 통한 주민 수용성 확보, 그린수소와 히트펌프를 활용한 섹터커플링 실증, 전력시장 제도 개선과 분산에너지 특화지역 지정 등 제주의 에너지전환 정책 추진 사례가 세계 여러 도시와 지역에 실질적인 참고가 되기를 기대합니다.

2026년 3월 대한민국 정부는 제주를 '탄소중립 에너지대전환으로 녹색문명을 개척하는 섬'으로 규정하며 정부 차원의 선도모델 구축을 추진해 나가고 있습니다. 제주와 함께할 국제사회의 관심과 동참을 기대합니다.

이번 보고서 발간을 위해 긴밀히 협력해 주신 세계은행 한국녹색성장신탁기금(KGGTF) 관계자 여러분과, 귀중한 전문성과 통찰을 더해 주신 세계은행 수소·에너지 분야 전문가 여러분께 깊이 감사드립니다.

제주도는 앞으로도 세계은행과의 협력을 더욱 공고히 하며, 기후위기 대응과 에너지 전환이라는 공동의 과제 해결을 위해 제주의 경험과 지식을 국제사회와 적극 공유해 나가겠습니다.

2026년 8월

위성곤

제주특별자치도지사

요약

본 보고서는 2012년 ‘2030 탄소 없는 섬 제주(Carbon Free Island JEJU by 2030)’ 구상이 출범한 이후 14년에 걸친 제주 에너지 전환의 과정을 분석한다. 특히 그린수소 생태계 구축을 통해 구조적 제약을 극복하고자 한 제주도의 전략적 노력에 초점을 맞춘다. 지리적·계통적 한계에 직면한 제주도는 유사한 제약을 안고 있는 도서 지역과 개발도상국에 실증적 참고 모델로서 의미를 갖는다.

핵심 메시지

첫째, 제주도는 ‘재생에너지 확대에 따른 출력제어 발생문제로 유연성 자원 확보 필요’라는 에너지 전환의 구조적 모순을 대한민국에서 가장 먼저, 가장 분명하게 경험한 지역이다. 2023년 풍력 출력제어량은 26.2 GWh에 달했으며, 이는 재생에너지 확대 정책의 성공이 곧 새로운 과제를 만들어낸다는 사실을 보여준다.

둘째, 카본프리 아일랜드 정책은 당초 목표(2030년 재생에너지 100%)와 비교하면 미달 상태에 있다. 2025년 기준 재생에너지 발전 비율은 24.3%로, 전국 평균(약 10.6%)을 두 배 이상 상회하지만 100% 자립과는 거리가 있다. 그럼에도 이 과정에서 축적된 경험과 제도적 자산은 후속 모델의 기초가 되었다.

셋째, 제주도는 2024년 발표한 ‘재생에너지·청정수소 기반 에너지대전환 2035 탄소중립 시나리오’를 통해 그린수소를 핵심 유연성 자원으로 간주하고 있다. 이 비전은 국가 목표(2050년)보다 15년 앞당긴 것으로, 현재 진행 중인 실험이며 그 성패는 향후 10년 내 검증될 것이다.

넷째, 제주 그린수소 생태계 모델은 한국 정부의 일관된 수소 정책 기조 위에서 전개되었다. 2019년 수소경제 활성화 로드맵, 2020년 세계 최초 수소법 제정, 2021년 제1차 수소경제 이행 기본계획, 2024년 청정수소 인증제 시행에 이르기까지 연속성이 유지된 점은 제주 사례의 신뢰성을 뒷받침한다.

개발도상국에 주는 핵심 시사점

재생에너지 보급은 초기 단계에서부터 견고한 유연성 자원을 포함하는 통합 패키지로 설계되어야 한다. 이와 동시에 제주의 ‘풍력자원 공유화기금’과 같은 제도적 재분배 장치를 통해 사회적 수용성을 확보할 수 있다. 운영 측면에서는 그린수소에 대한 단계적 접근이 가장 현실적인 경로를 제공한다. 즉, 초기 실증(2017년 260 kW)에서 상업 운전(2024년 3.3 MW)을 거쳐 대규모 상용화(2028년 10.9 MW 예정)로 나아가는 방식이다. 궁극적으로 청정수소 인증제와 분산에너지 특화지역과 같은 제도적 기반을 구축하는 일은 물리적 인프라에 대한 자원 조달 못지않게 중요하다.

독자 고려 사항

본 보고서는 제주의 정책 사례를 종합 분석한 것으로, 일부 핵심 정책(2035 탄소중립 시나리오, 7대 혁신실증 프로젝트, 분산에너지 특화지역 운영 등)은 발표 또는 초기 시행 단계에 있어 성과 검증은 향후의 과제로 남는다.

따라서 본 보고서는 ‘검증된 모델’이 아니라 ‘진행 중인 실험에서 도출된 중간 교훈’으로 읽혀야 한다. 또한 LCOH(균등화 수소생산비용) 등 일부 경제성 지표는 운영 데이터가 충분히 축적되지 않아 정량적 결론보다는 정성적 방향성을 제시하는 데 그쳤다.

목 차

요약	3
핵심 메시지	3
개발도상국에 주는 핵심 시사점	3
독자 고려 사항	3
약어	5
1. 글로벌 에너지 전환의 흐름과 수소 경제의 부상	6
1.1 기후 위기와 에너지 패러다임의 전환	6
1.2 글로벌 수소 시장 동향	6
1.3 보고서의 배경과 구성	7
2. 대한민국 정부 탄소중립 전략과 수소 경제 육성	8
2.1 대한민국 2050 탄소중립 선언	8
2.2 제1차 수소경제 이행 기본계획	8
2.3 탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획	9
2.4 국가에너지 주권의 선도지역, 제주	9
3. 제주도 에너지 전환 성과와 과제	12
3.1 카본프리 아일랜드 정책	12
3.2 구조적 한계와 출력 제어 발생	13
4. 위기를 기회로: 제주형 그린수소 생태계 조성 전략	17
4.1 2035 탄소중립 비전과 에너지대전환	17
4.2 그린수소 생태계 조성 추진경과	19
5. 그린수소 경제성 및 제도적 지원	25
5.1 그린수소 경제성	25
5.2 대한민국 청정수소 인증제	26
5.3 분산에너지 특화지역 지정의 의미	27
6. 개발도상국을 위한 ‘녹색성장 에너지 전환 모델’	29
6.1 제주 모델의 개발도상국 적용 적합성	29
6.2 개발도상국을 위한 시사점	30
참고 문헌	34

약어

약어	정식 명칭 (English)	국문
AEC	Alkaline Electrolysis Cell	알칼라인 수전해
AEM	Anion Exchange Membrane	음이온교환막 수전해
AMI	Advanced Metering Infrastructure	지능형 검침 인프라
BESS	Battery Energy Storage System	배터리 에너지저장장치
BTM	Behind-the-Meter	계량기 후단(자가소비형)
CAPEX	Capital Expenditure	자본지출
CCS	Carbon Capture and Storage	탄소포집·저장
CFI	Carbon Free Island	탄소 없는 섬
CHCS	Clean Hydrogen Certification System	청정수소 인증제
CHPS	Clean Hydrogen Portfolio Standard	청정수소발전의무화제도
CO ₂ eq	Carbon Dioxide Equivalent	이산화탄소 환산량
DOE	Department of Energy (U.S.)	미국 에너지부
DR	Demand Response	수요반응
ESS	Energy Storage System	에너지저장장치
EV	Electric Vehicle	전기차
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle	수소전기차
GGGI	Global Green Growth Institute	글로벌녹색성장기구
GHG	Greenhouse Gas	온실가스
HRS	Hydrogen Refueling Station	수소충전소
HVDC	High-Voltage Direct Current	초고압직류송전
ICCT	International Council on Clean Transportation	국제청정교통위원회
ICJ	International Court of Justice	국제사법재판소
ICT	Information and Communication Technology	정보통신기술
IEA	International Energy Agency	국제에너지기구
IRA	Inflation Reduction Act	(미국) 인플레이션감축법
LCOH	Levelized Cost of Hydrogen	균등화 수소생산비용
LEDS	Long-term Low-carbon Development Strategy	장기 저탄소 발전전략
LFG	Landfill Gas	매립가스
MDB	Multilateral Development Bank	다자개발은행
NO _x	Nitrogen Oxides	질소산화물
NWA	Non-Wire Alternative	비전선(非電線) 대안
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development	경제협력개발기구
OPEX	Operating Expenditure	운영지출
P2G	Power-to-Gas	전력의 가스 전환
P2H	Power-to-Heat	전력의 열 전환
P2X	Power-to-X	전력의 다용도 전환
PCS	Power Conversion System	전력변환장치
PEM	Proton Exchange Membrane	양성자교환막 수전해
PM	Particulate Matter	미세먼지(입자상 물질)
PMS	Power Management System	전력관리시스템
PPA	Power Purchase Agreement	전력구매계약
PV	Photovoltaic	태양광
RE	Renewable Energy	재생에너지
RE100	Renewable Electricity 100%	재생전기 100% 사용
SFOC	Solutions for Our Climate	기후솔루션
SIDS	Small Island Developing States	군소도서개발국
SMP	System Marginal Price	계통한계가격
SOEC	Solid Oxide Electrolysis Cell	고체산화물 수전해
SO _x	Sulfur Oxides	황산화물
STLF	Short-Term Load Forecasting	단기 부하예측
V2G	Vehicle-to-Grid	차량-계통 연계(양방향 충전)
VPP	Virtual Power Plant	가상발전소
VRE	Variable Renewable Energy	변동성 재생에너지

녹색성장을 위한 지속가능 모델: 제주특별자치도의 에너지 전환 사례

서광용(Ph.D.), 제주특별자치도 기후에너지정책과 주무관, kwangyong22@korea.kr

한승관, 제주특별자치도 홍보대사, joal0412@gmail.com

* 본 보고서의 초기 초안에 유익한 검토 의견을 제공한 World Bank Group의 Selena Jihyun Lee와 Priyank Lathwal에게 감사를 표합니다.

1. 글로벌 에너지 전환의 흐름과 수소 경제의 부상

1.1 기후 위기와 에너지 패러다임의 전환

기후위기는 경제·산업 체계의 근본적 재편을 요구한다. 국제사법재판소(International Court of Justice, ICJ)는 지난 2025년 7월 발표한 권고 의견에서 기후 대응이 더 이상 재량의 문제가 아니라 국제법상 구속력 있는 의무이며 국경을 넘는 피해에 대한 책임이 발생할 수 있음을 확인하였다.¹ 화석연료 패러다임이 한계에 이르면서 재생에너지로의 전환은 필연이 되었으나, 태양광과 풍력의 간헐성은 재생에너지가 일정 임계치를 넘어서는 순간 잉여 전력을 강제로 버려야 하는 출력제어(curtailment)를 야기한다.

제주특별자치도가 바로 이 도전의 최전선에 있다. 2012년 ‘카본프리 아일랜드’ 정책을 통해 공격적인 재생에너지 확대를 추진한 결과, 제주 재생에너지 보급의 성과와 동시에 대한민국에서 출력제어의 역설을 가장 먼저, 가장 극명하게 경험한 지역이 되었다. 본 보고서는 이러한 제약을 그린수소 생태계의 축대로 전환하고자 한 제주의 전략적 선회를 분석하고, 그로부터 신흥국 및 개발도상국을 위한 교훈을 도출한다.

1.2 글로벌 수소 시장 동향

국제에너지기구(IEA)의 ‘2026 글로벌 수소 리뷰’에 따르면, 2025년 전 세계 수소 수요는 1억 톤을 넘어 전년 대비 약 3% 증가했다. 저탄소 수소 생산량도 20% 늘어 100만 톤에 근접했으나 여전히 전체 생산량의 1% 미만이며, 2026년에야 처음으로 1%를 넘어설 전망이다.

산업계도 이 격차를 좁히기 위해 빠르게 움직이고 있다. 2025년 전 세계 수전해 설비 용량은 중국의 대규모 프로젝트에 힘입어 전년 대비 두 배로 늘어 4 GW를 넘어섰고, 신규 설치의 4분의 3을 중국이 차지했다. 2026년 확정된 파이프라인 프로젝트에서도 중국이 60% 이상을 차지할 전망이며, 유럽은 용량 기준 20% 미만이었지만 투자액 기준으로는 45%를 차지했다. 다만 최근 자본비용 상승과 전력가격

1 국제사법재판소 권고의견 2025년 7월 23일 (Obligations of States in Respect of Climate Change)

2 2026 글로벌 수소 리뷰, 국제에너지기구, 2026년 7월.

부담으로 그린수소 프로젝트 취소가 잇따르는 등, 시장이 실증 단계를 완전히 벗어나기까지는 지역별로 속도 차이가 존재한다.²

개발도상국에 이러한 흐름은 기회이자 도전이다. 풍부한 재생에너지 잠재력에도 불구하고 높은 초기 투자 비용과 기술 장벽으로 인해 에너지 전환의 편익에서 소외될 위험이 있기 때문이다.

이러한 맥락에서 제주의 사례는 특별한 의미를 갖는다. 제주는 수소를 단순한 미래 기술이 아닌, 재생에너지 계통 불안정 문제를 해결하는 현실적 도구로 접근한다. 지역 에너지 유연성 확보와 모빌리티 등 내수 활용에 집중한 제주의 접근은, 인프라가 부족한 개발도상국이나 도서 지역에 더욱 현실적인 참조 모델을 제공한다.

1.3 보고서의 배경과 구성

본 보고서는 대한민국 제주특별자치도의 사례를 통해 재생에너지 확대 과정에서 발생하는 전력망 불안정 문제를 그린수소 생태계 조성을 통해 해결하려는 시도를 분석한다. 제주는 ‘탄소 없는 섬 2030(Carbon Free Island 2030, CFI 2030)’ 정책을 추진하면서 재생에너지 비율을 비약적으로 높였으나, 출력 제어(Curtailment) 등 구조적 문제와 더불어 기후 위기라는 국제적 환경변화에 직면하면서 새로운 에너지대전환 정책을 수립하고 있다.

2022년 9월 산업통상자원부와 제주특별자치도는 ‘그린수소 글로벌 허브 구축계획’을 공동으로 발표했다. 제주에서 추진되는 국내 최초 10 MW급 이상 대규모 그린수소 실증사업 착수와 함께 발표한 이 계획은 대한민국의 수소경제 로드맵 위에서 설계되었고 제주도 그린수소가 지역 에너지 자립뿐만 아니라 한국형 수전해 기술의 국산화와 수출산업화를 검증하는 국가적 테스트베드로서 역할을 수행하도록 하였다. 이러한 배경에서, 2024년 5월 발표한 ‘재생에너지·청정수소 기반 에너지대전환 2035 탄소중립 시나리오’는 재생에너지와 그린수소를 중심으로 에너지 전환을 추진해 2035년까지 탄소중립을 달성하면서 지역경제 활성화, 일자리 창출을 동시에 추구하는 제주도 에너지 전환 의지를 포괄하는 정책이다.

제주의 에너지 전환 경험은 단순한 지역적 사례를 넘어, 유사한 지리적·경제적 여건을 가진 개발도상국에 적용 가능한 ‘지속가능한 녹색성장 모델’로서 중요한 가치를 지니고 있다. 종합적 분석을 위해 본 보고서는 다음과 같이 6개의 장으로 구성된다.

- 제1장과 제2장은 기후위기, 글로벌 수소 시장 동향, 그리고 대한민국의 국가 탄소중립 전략과 수소경제를 위한 제도적 추진 동력을 살펴봄으로써 보다 넓은 맥락을 설정한다.
- 제3장은 제주 에너지 전환의 구체적 성과와 현재 진행 중인 시스템 차원의 과제를 평가한다.
- 제4장은 그린수소 생태계를 통해 출력제어를 극복하기 위한 실행 전략을 제시한다.
- 제5장은 그린수소 경제성, 청정수소 인증제, 분산에너지 특화지역을 다룬다.
- 제6장은 개발도상국을 위한 정책적 시사점과 이전 가능한 교훈을 제시하며 마무리한다.

2. 대한민국 정부 탄소중립 전략과 수소 경제 육성

제주도 사례를 이해하기 위해서는 먼저 대한민국의 정책 수립 배경과 방향을 살펴볼 필요가 있다. '2024 에너지통계연보'에 의하면 대한민국은 에너지 수입 의존도가 93.9%로 매우 높은 산업 국가³로, 탄소중립 목표 연도를 2050년으로 정하고 수소 경제를 기후 위기 대응과 미래 성장 동력 확보를 위한 국가 경쟁력의 핵심 축으로 설정하여 정책을 추진하고 있다.

대한민국의 수소 정책은 일관성을 가지고 지속적으로 추진되어 왔다. 2019년 종합적인 국가계획인 수소경제 활성화 로드맵이 마련되었다. 이는 2020년 수소 분야 세계 최초의 법률인 수소법 제정으로 견고한 제도적 기반을 구축하였다. 2021년 정부는 '제1차 수소경제 이행 기본계획'을 통해 '청정수소 중심' 패러다임으로의 전환을 가속하였다. 2023년 4월에는 탄소중립 사회로의 전환을 위한 최상위 법정 체계인 '국가 탄소중립·녹색성장 전략과 제1차 기본계획'을 확정하였다.

2.1 대한민국 2050 탄소중립 선언

대한민국의 2050년 탄소중립 공식 선언은 2020년 10월 28일 문재인 전 대통령의 국회 시정 연설이었으며 이후 탄소중립을 위한 정책 추진이 본격화되었다. 2020년 12월에는 정부 관계부처 합동으로 '2050 탄소중립 추진전략'을 발표하면서 기후기술 혁신을 위한 과감한 투자와 지원으로 2050 탄소중립을 위해 노력하겠다고 하였다. 이를 위한 추진전략으로 UN에 제출한 장기 저탄소 발전전략 (LEDS)을 바탕으로 5대 기본 방향을 따랐으며 그 내용은 ①전기·수소 활용 확대, ②에너지 효율 혁신 촉진, ③미래 기술 상용화 가속, ④순환경제 확대 ⑤탄소 흡수원 확충을 제시하였다.⁴

2.2 제1차 수소경제 이행 기본계획

대한민국 정부가 2021년 11월 발표한 '수소경제 이행 기본계획'은 수소법 제정 이후 수립된 수소 분야 최상위 법정계획으로, 2050년까지 세계 최고 수준의 수소 산업 선도국가로 도약하기 위한 구체적인 청사진을 담고 있다.

이 계획은 2050년까지 연간 2,790만 톤의 수소를 100% 청정수소로 공급하겠다는 도전적인 목표를 제시하였다. 이는 대한민국이 단순한 기술 도입국을 넘어 청정수소 기반의 글로벌 에너지 시장을 선점하겠다는 강력한 정책적 의지를 표명하였다.⁵

대한민국의 수소 및 탄소중립 정책은 에너지의 대외 의존도를 낮추어 국가 에너지 안보를 강화하는 동시에, 탄소중립이라는 규범적 가치를 신산업 육성의 기회로 전환하는 전략적 선택이다. 수소법 제정과 청정수소 인증제 도입, 그리고 연도별 감축 경로를 명시한 기본계획의 수립은 민간 투자의 불확실성을 해소하고 지속 가능한 녹색성장 모델을 제시하였다는 점에서 국제적 기후 거버넌스 내에서도 중요한 선례가 된다.

3 2024 에너지통계연보, 에너지경제연구원, 2024년 7월.

4 대한민국 2050 탄소중립 전략, 대한민국정부, 2020년 12월.

5 제1차 수소경제 이행 기본계획, 대한민국정부, 2021년 11월.

2.3 탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획

2023년 4월, 정부는 탄소중립 사회 이행을 위한 최상위 법정계획인 ‘탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획(2023~2042)’을 확정하였다. 이 계획은 2030년 온실가스 배출량을 2018년 대비 40% 감축하는 목표와 함께 부문별·연도별 감축 경로를 최초로 명시하였으며, 수소산업을 탄소중립 이행의 핵심 수단이자 에너지 안보 강화 및 신산업 창출의 중추 분야로 정의하였다.⁶

수소산업 육성 전략은 생산, 인프라, 활용, 생태계의 네 축으로 구성된다. 생산 측면에서는 수전해 기반 그린수소 확대, 블루수소 생산 체계 구축, 해외 청정수소 공급망 확보를 추진한다. 인프라 측면에서는 수소 전용 항만 및 배관망 구축과 함께, 2030년까지 660개, 2040년까지 1,200개 이상의 수소충전소를 전국에 배치할 계획이다. 활용 측면에서는 수소 전소·혼소 발전, 모빌리티, 수소환원제철 등 산업 전 분야로 수소를 확대할 계획이다. 마지막으로 생태계 기반 강화를 위해 핵심 부품 국산화, 전문 인력 양성, 지역별 수소 클러스터 조성 등 지역 주도의 상향식 이행 체계 구축을 추진할 계획이다.

2.4 국가에너지 주권의 선도지역, 제주

2026년 3월 30일, 제주특별자치도에서 이재명 대통령과 기후에너지환경부 장관, 과학기술정보통신부 장관, 제주도지사 및 지역 주민들이 참석한 가운데 ‘에너지대전환, 제주의 미래가 대한민국의 미래다’를 주제로 제주타운홀 미팅이 개최되었다. 이 행사는 제주의 ‘2035 탄소중립’ 비전을 국가적 차원의 핵심 전략으로 격상하고, 이를 실질적으로 뒷받침하기 위한 정부의 지원 방안을 확정하기 위해 마련되었다.

이 자리에서 이재명 대통령은 제주는 단순한 관광지가 아니라, 기후 위기 시대에 대한민국의 에너지 주권을 선도하는 가장 중요한 전초기지임을 강조했고 기후에너지환경부 장관은 제주의 에너지 자립과 신산업 창출을 위한 ‘7대 혁신실증 프로젝트’를 발표했다. 이 프로젝트는 재생에너지의 구조적 한계를 극복하고 제주를 대한민국 에너지 전환의 살아있는 실증장이자 글로벌 표준 모델로 도약시키기 위한 종합 전략으로, 7대 프로젝트의 주요 내용은 다음과 같다.

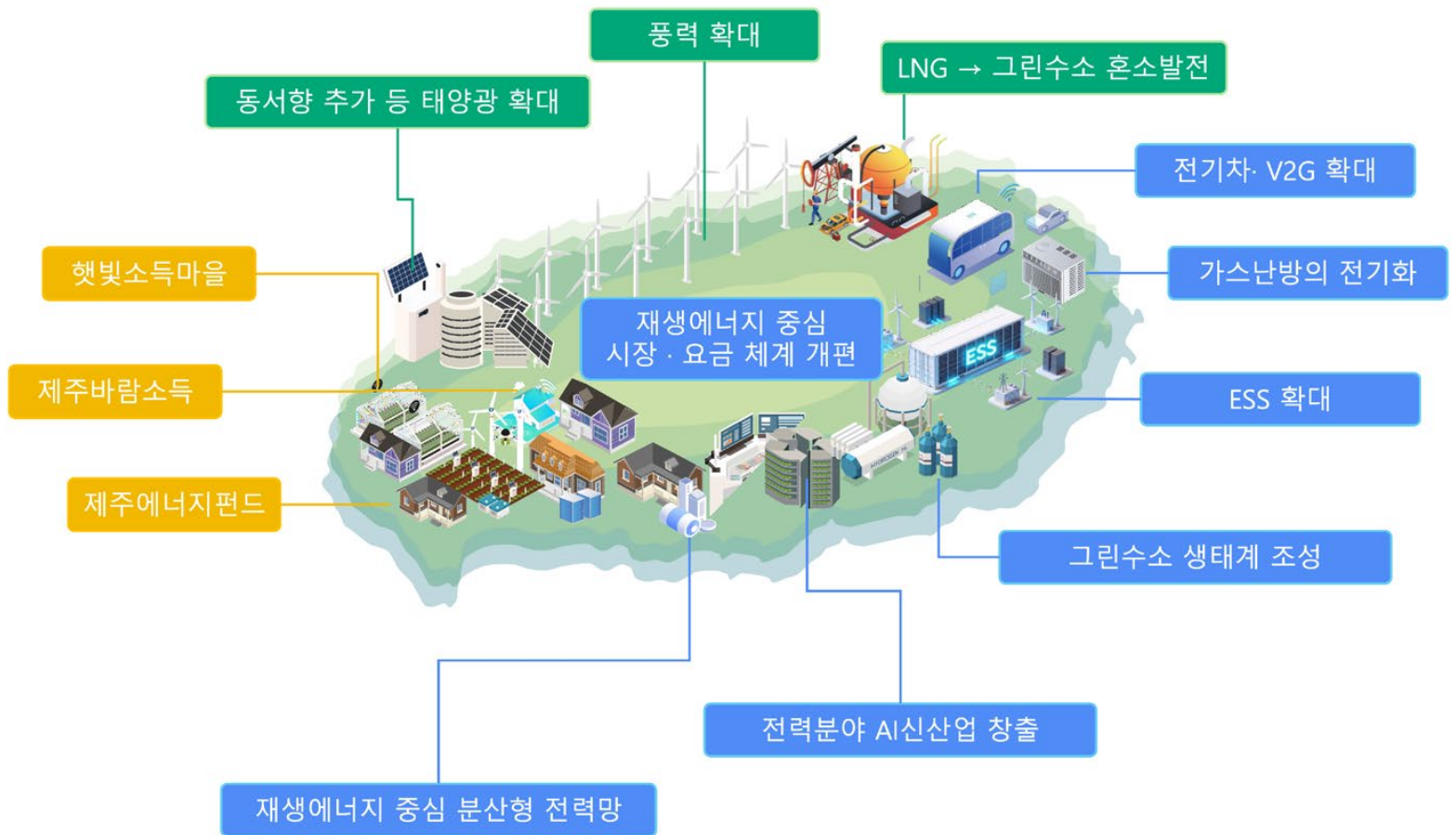
1. 전기차·V2G 확대: 전기차 보급률을 2030년 신차 기준 50%, 2035년 100%까지 끌어올리고, V2G 시스템은 2025~2027년 55대 실증을 거쳐 2030년 1만 대(이동형 ESS 1 GWh)로 확대한다. 아울러 양방향 전용 충전기를 확대하고, 사용 후 배터리를 가로등·이송로봇 등에 재활용하는 순환 체계와 통합센터 구축을 목표로 한다.
2. 가스 난방의 전기화: 화석연료 기반 난방을 히트펌프 중심의 전기 방식으로 전환한다. 2026년에는 주택 1,563세대를 대상으로 히트펌프를 우선 도입하고, 사회복지시설 및 어린이집으로 단계적으로 확대한다.
3. ESS 확대: 에너지저장장치(ESS)를 2026년 68 MW에서 2030년 1 GW로 대폭 확충한다. 배전망 ESS를 활용하여 전력망 증설을 최소화하고, 호텔·리조트·농장·가정을 대상으로 태양광·ESS·히트펌프를 연계한 통합발전소(VPP) 실증(2026~2027년)을 추진한다.

6 탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획, 대한민국정부, 2023년 4월.

4. 그린수소 생태계 조성: 수전해 설비 10.9 MW 실증(~2028년)을 통해 그린수소 생산 기반을 구축하고, 수소 충전소를 2026년 2기에서 2030년 6기로 확대한다. 수소차는 2026년 94대에서 2030년 1,336대로 늘려 수소 모빌리티 생태계를 조성한다.
5. 전력분야 AI 신산업 창출: 지능형 전력계량시스템(AMI)과 AI를 결합한 마이크로 그리드 실증(2026~2027년)을 추진하며, 태양광·히트펌프·ESS 설치 가구를 대상으로 에너지 효율 최적화 모델을 구현한다. 아울러 공공 주도의 40 MW급 AI 데이터센터를 구축하여 전력 분야 신산업 기반을 마련한다.
6. 재생에너지 중심 분산형 전력망 실증: 재생에너지 확대에 대응하여 그리드포밍 ESS 40 MW(2027년), E-STATCOM 50 Mvar(2027~2029년), 고관성 동기조상기 50 Mvar(2027년) 등 최신 전력망 안정화 기술을 순차 적용한다.
7. 재생에너지 중심 시장·요금 체계 전면 도입: 전기차·수전해 설비·공장 및 상업시설 등 수요자원이 통합발전소(VPP)를 통해 공급입찰에 참여하거나 단독으로 수요입찰을 할 수 있도록 시장 참여를 다각화(2028년)한다. 또한 재생에너지 공급 과잉 시간대를 주민이 실시간으로 확인하고 저렴하게 전력을 이용할 수 있는 '전기에보제'를 도입하여 가격 신호 기반의 계통·시장 운영 체계를 구축한다.



그림1. 7대 혁신실증 프로젝트(기후에너지환경부 발표)



출처: 기후에너지환경부 제주타운홀미팅 발표자료(2026년 3월)

3. 제주도 에너지 전환 성과와 과제

제주도는 2012년 ‘카본프리 아일랜드 2030 (CFI 2030)’ 비전을 선포하며 전 세계에서 가장 야심 찬 에너지 전환 실험을 시작했다. 이는 인구 50만 명 이상의 지역을 대상으로 화석연료를 완전히 퇴출하겠다는 세계 최초의 시도였다.⁷ 본 장에서는 정책추진 과정에서 제주가 거둔 성과와 함께, 정책 목표 대비 미달성 지점, 그리고 과제를 진단한다.

3.1 카본프리 아일랜드 정책

제주도에서 ‘카본프리 아일랜드 (Carbon Free Island)’ 라는 표현은 2008년 5월에 처음 등장했다. 당시 원유 1배럴당 100달러가 넘어서는 고유가 시대에 대응하여 에너지 소비구조를 저소비형 구조로 전환하는데 중점을 두었다. 그리고 2012년 기후변화에 대응하고 에너지 자립을 위한 제주형 저탄소 녹색성장 모델인 ‘Carbon Free Island Jeju by 2030’ 계획을 공식적으로 발표했다. 이 정책은 대한민국에서 가장 오래된 종합적인 지역 신재생에너지 개발·보급 정책이었으며 그 추진 동력에는 중앙정부의 구조적 지원이 뒷받침되었다.⁸

정책의 핵심은 도내 전력 수요의 100%를 신재생에너지로 충당하고, 상용차 37만 7천 대를 전기차로 전환함으로써 청정, 안정, 성장이라는 핵심가치를 실현하는 것이었다. ‘청정’은 온실가스와 오염물질을 배출하지 않고 자연환경과 조화되는 청정에너지 시스템 구축을 의미하며 ‘안정’은 에너지 생산을 자립화, 거래 최적화, 소비를 최소화하는 안정적 에너지 수급 구조를 구현하는 것을 의미하고 ‘성장’은 도민이 주도하는 혁신성장 에너지산업 생태계를 조성하는 것을 의미한다.⁹

정책발표 이후 풍력과 태양광 발전 시설이 급격히 증가하여, 2025년 기준 재생에너지 발전 비율은 약 24.3%를 기록했다. 이는 한국 전체 평균인 약 10.6%를 크게 상회하는 수치이다. 또한 2026년 5월 말 기준 도내 전기차 등록대수는 48,305대로 보급률 11.65%(전국 평균 3.95% 대비 약 3배 수준)를 기록하며 전국 1위를 유지하고 있어, ‘전기차의 섬’이라는 브랜드를 굳건히 하고 있다.

또한 제주도는 에너지정의 실현하고 지역주민들의 공감대 형성을 위해 공공자원인 풍력자원에 따른 개발 이익을 지역 에너지 자립과 에너지 복지사업 활성화 등에 기여할 목적으로 2017년부터 ‘풍력자원 이익공유화 기금’을 운영하고 있다. 이 기금은 단순한 재정 확보를 넘어, 에너지 전환 과정에서 발생할 수 있는 사회적 갈등을 해소하고 자원의 공공성을 확립하는 핵심적인 정책 도구이다. 기금은 신재생에너지 교육, 홍보 및 관련 인프라 확충에 다시 투자되고 있다. 이는 외부 재원에만 의존하지 않고 스스로 에너지 전환을 지속할 수 있는 동력을 확보하게 하며, 취약계층을 위한 에너지 복지 사업에 활용되면서 에너지 정의를 실현하는 도구로 활용되고 있다.

7 한희진·민상오 (2022), 제주 2030 카본프리(carbon-free) 아일랜드 정책의 성과와 도전과제: 한국의 탄소중립 정책에 주는 함의, 아시아연구, 25(1), 347-374.

8 CFI2030 계획, 제주특별자치도, 2012년 5월.

9 CFI2030계획 수정 보완 용역, 제주특별자치도, 2019년 6월.

표1. 제주특별자치도 풍력자원 이익공유화 기금 사업 운영 현황

구 분	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	2024년	합 계
기금조성액 (백만원)	4,658	3,505	7,157	3,744	3,106	5,208	6,734	2,487	36,599
지출액 (백만원)	3,044	3,862	4,249	3,704	3,995	2,829	3,265	2,947	27,895

그러나 2012년 CFI2030이 제시한 목표와 비교하면, 2025년 시점의 24.3%는 분명한 미달성이다. 현재 시점에서 2030년까지 목표를 달성하는 것은 현실적으로 불가능에 가깝다. 2024년 발표된 '2035 탄소중립 시나리오'는 이러한 현실 인식 위에서 목표 시점을 5년 늦추되 정책 수단을 그린수소·분산에너지로 다각화한 결과물이다.

목표 미달성의 원인은 단일하지 않다. 전력시장제도의 경직성, 재생에너지 경제성, 인허가 절차의 복잡성, 주민 수용성 확보 과정의 지연, 그리고 무엇보다 다음 절에서 다룰 출력제어 발생으로 인한 추가 보급의 경제적 제약 등이 복합적으로 작용했다. 그러나 이 미달성 자체가 제주 사례의 가치를 떨어뜨리는 것은 아니다. 오히려 어떤 한계에 봉착했는지를 정확히 기록한 자료는, 유사한 길을 걷고자 하는 후발 지역에 값진 교훈이 된다.

3.2 구조적 한계와 출력 제어 발생

재생에너지의 급격한 확대는 전력 계통의 수용 한계를 초과하는 부작용을 낳았다. 전력은 생산과 소비가 실시간으로 일치해야 하는데, 태양광과 풍력은 날씨에 따라 발전량이 불규칙하기 때문에 수요보다 과잉 생산되는 시점이 발생한다. 결국 재생에너지 확대 정책의 성과로 인해 정전이 발생할 수 있는 모순적 상황에 처했다.

3.2.1 출력 제어 현황과 경제적 손실

전력망 과부하로 인한 대정전(Blackout)을 막기 위해 전력거래소는 풍력발전기의 가동을 강제로 중단시키는 '출력 제어' 조치를 시행했다.

2015년에는 미미했던 출력 제어가 2023년에는 풍력 발전에서만 117회 발생하였고, 제어량은 26.2 GWh에 달했다. 2021년부터는 태양광 발전으로까지 출력 제어 대상이 확대되었다.¹⁰

10 2025 제주 전력계통 운영실적, 전력거래소, 2026년 2월.

표2. 제주특별자치도 출력제어 현황

구분	풍력제어 횟수	풍력제어량 (MWh)	태양광 차단 횟수	폐기물 발전 제어횟수
2017년	14회	1,300	-	-
2018년	15회	1,366	-	-
2019년	46회	9,223	-	-
2020년	77회	19,449	-	3회
2021년	64회	12,016	1회	12회
2022년	104회	25,633	28회	66회
2023년	117회	26,201	64회	70회
2024년	51회	9,370	32회	30회

출처: 전력거래소, 2025년 2월

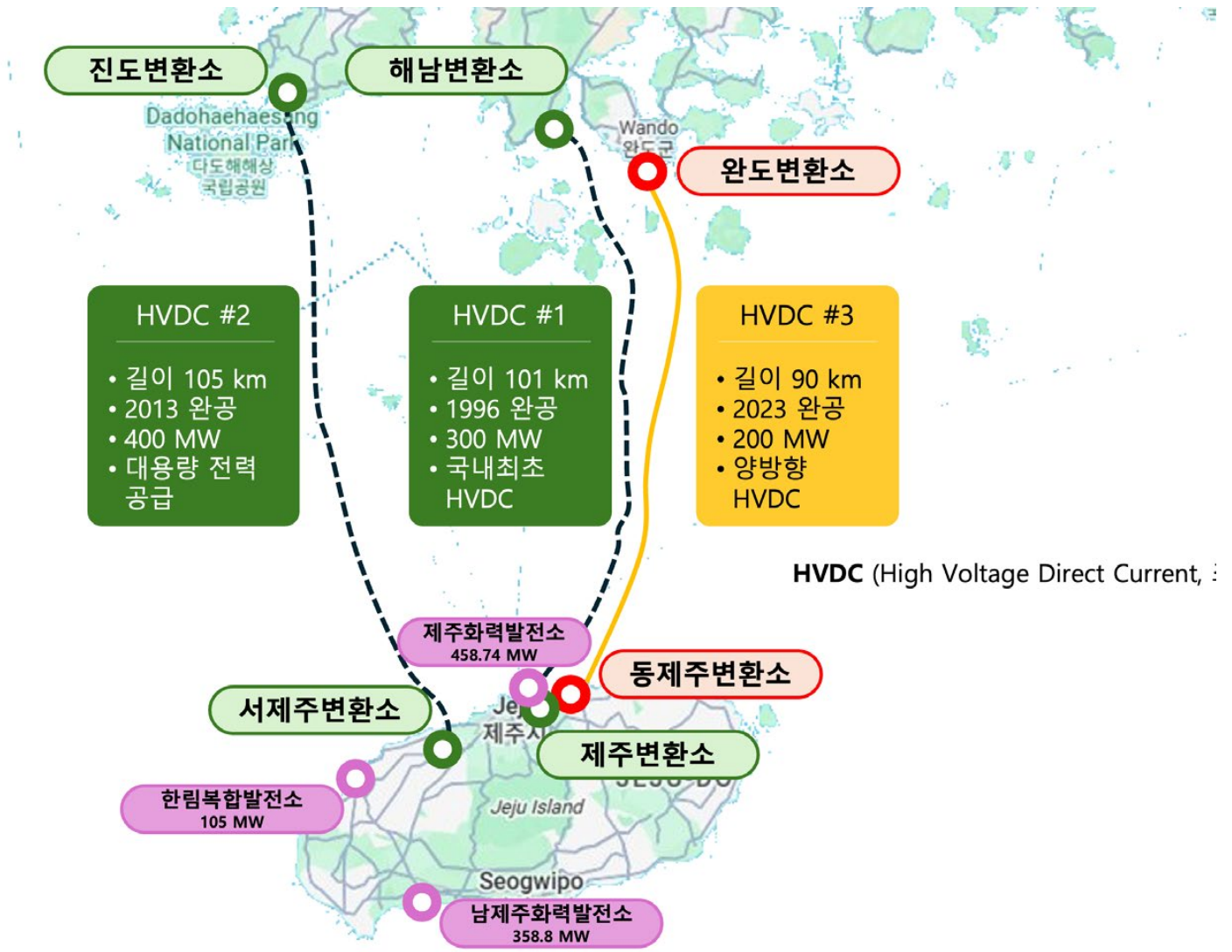
지속적으로 증가하던 출력제어는 2024년 6월부터 재생에너지 실시간 전력시장 입찰제가 도입되면서 전년 대비 절반 이하로 감소하였다. 재생에너지를 전력시장 입찰에 참여시켜 수요에 맞게 발전량을 조절할 수 있게 되면서 출력제어가 감소하였다. 아울러 유연성 자원인 에너지저장장치(ESS) 확충과 전력이 남는 시간에 전기를 더 많이 쓰도록 유도하는 플러스 DR 확대, 화력발전소 최소출력을 하향 조정하는 기술적 조치가 이루어지면서, 재생에너지 수용성이 개선되었다.

3.2.2 기술적 원인

제주도가 신재생에너지 보급 확대에 노력해왔지만 전력 계통은 여전히 육지와 연결된 3개의 HVDC(고전압 직류송전) 연계선과 3개의 발전소에 의존하고 있다. 재생에너지 발전원은 기존 화력발전기와 달리 ‘관성(Inertia)’을 제공하지 못해 주파수 안정성이 떨어진다. 화력발전기는 거대한 터빈이 회전하며 전기를 만들기 때문에, 갑작스러운 부하 변동에도 회전체의 관성을 통해 주파수 변화를 억제하는 능력이 있다. 반면, 태양광이나 풍력(인버터 기반 자원)은 이러한 관성이 거의 없다. 제주 전력 계통은 고립되어 있어 육지보다 관성이 작다. 따라서 재생에너지 비중이 높아지면 계통 안정성을 위해 최소한의 화력발전기를 가동(Must-Run) 해야만 한다. 이로 인해 재생에너지 발전이 가능한 상황에서도 화력발전기를 끄지 못해 잉여 전력이 발생하고, 결국 재생에너지를 출력 제어하는 상황이 발생하는 것이다. 또한, 단기 전력 수요 예측(STLF)의 오차와 BTM(Behind-The-Meter, 한전 계량기에 잡히지 않는 자가소비용) 태양광의 변동성이 계통 운영의 난이도를 높이고 있다.¹¹

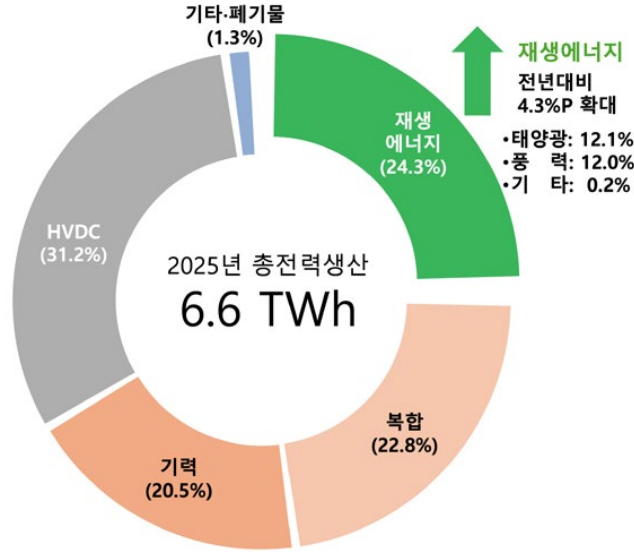
11 Kim, Hyun-Goo, et al. (2025). Short-term Load Forecasting of Jeju Island Considering the Behind-the-Meter Solar Power. *New & Renewable Energy* 21.2: 52-59.

그림2. 제주도 전력계통



전력거래소에서 발표한 2025년 제주지역 전력계통 운영실적 보고서에 따르면 발전원별 실적은 HVDC 31.2%, 기력발전 20.5%, 복합발전 22.8%, 재생에너지 24.3%로 총 6.6 TWh 전력을 생산하였다.

그림3. 2025 제주도 총전력생산량



출처: 2025년 연간 제주지역 전력계통 운영실적, 전력거래소, 2026년 2월

* 반올림으로 인해 합계가 100%를 초과함(100.1%)

보고서는 전통적 화력 발전 중심의 중앙급전 방식에서 HVDC 및 재생에너지 중심의 저탄소 전원 구조로의 전환이 뚜렷한 것으로 분석하였다. 총 발전실적은 전년 대비 0.18% 증가했지만, 기력(-7.0%), 내연(-71.9%), 복합(-14.0%) 등 기존 중앙급전 부문 발전량은 감소했다. 반면, HVDC 발전실적은 5.6% 증가하며 31.2%로 나타났다. 재생에너지 비중은 전년 대비 4.3%p 상승한 24.3%로 나타났다. 이는 태양광과 풍력의 성장세에 기인한 결과로, 향후 비중양 유연성 자원 중심의 전력 공급 체계가 확대될 것으로 예상된다.

표3. 2025년 제주특별자치도 발전원별 실적

구분		발전실적(MWh)		증가율(%)	비중(%)		
		2024년	2025년				
HVDC		1,953,740	2,062,234	5.6	31.2		
중앙급전		기력	1,454,897	1,352,646	-7.0	20.5	
		내연	41,427	11,622	-71.9	0.2	
		복합	1,752,739	1,506,578	-14.0	22.8	
비 중 양	재생E	풍력	664,068	793,897	19.6	12.0	24.3
		태양광	638,760	799,566	25.2	12.1	
		기타*	13,953	10,057	-27.9	0.2	
	폐기물		76,158	71,231	-6.5	1.1	
	합 계		6,595,744	6,607,830	0.18	100	

* 기타: 바이오, 소수력, 매립가스(LFG), 파력에너지

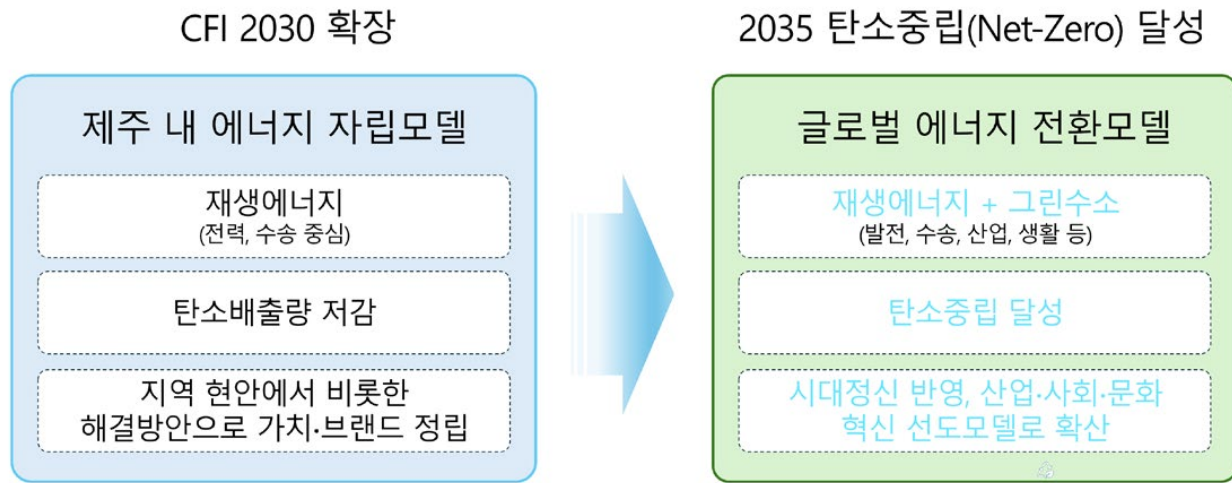
출처: 2025년 연간 제주지역 전력계통 운영실적, 전력거래소, 2026년 2월

4. 위기를 기회로: 제주형 그린수소 생태계 조성 전략

재생에너지 비중이 높아질수록 ‘출력 제어’는 필연적으로 발생하는 문제로, 이를 해결하지 않고서는 탄소중립 달성이 불가능하다. 제주도는 이 위기를 기회로 전환하기 위해 잉여 전력을 저장할 수 있는 대규모 유연성 자원인 ‘그린수소’에 주목하고 있다. 이는 정부의 수소경제 이행 기본계획과 청정수소 생태계 조성방안과 긴밀히 맞물려 그린수소 실증사업과 인프라 구축을 주도하며 대한민국 탄소중립의 선도적 역할을 수행하고 있다.

제주도는 2024년 5월, 기존 CFI 2030정책의 한계를 극복하고 도약하기 위한 ‘재생에너지×그린수소 기반 에너지대전환 시나리오’를 발표하면서 2035 탄소중립 비전을 선포했다. 이 비전은 국가 목표인 2050년보다 15년 앞당겨 넷제로를 달성하겠다는 도전적인 계획으로, 그 중심에 그린수소가 있다.¹²

그림4. 에너지대전환 추진방향



4.1 2035 탄소중립 비전과 에너지대전환

새로운 비전의 핵심은 재생에너지 발전 설비를 7 GW까지 확대하여 재생에너지 발전비율을 70% 이상 높이고, 6만 톤 이상의 그린수소를 생산해 기저발전원을 화력에서 재생에너지와 그린수소 전소발전으로 100% 전환하여 탄소중립을 달성하겠다는 것이다.

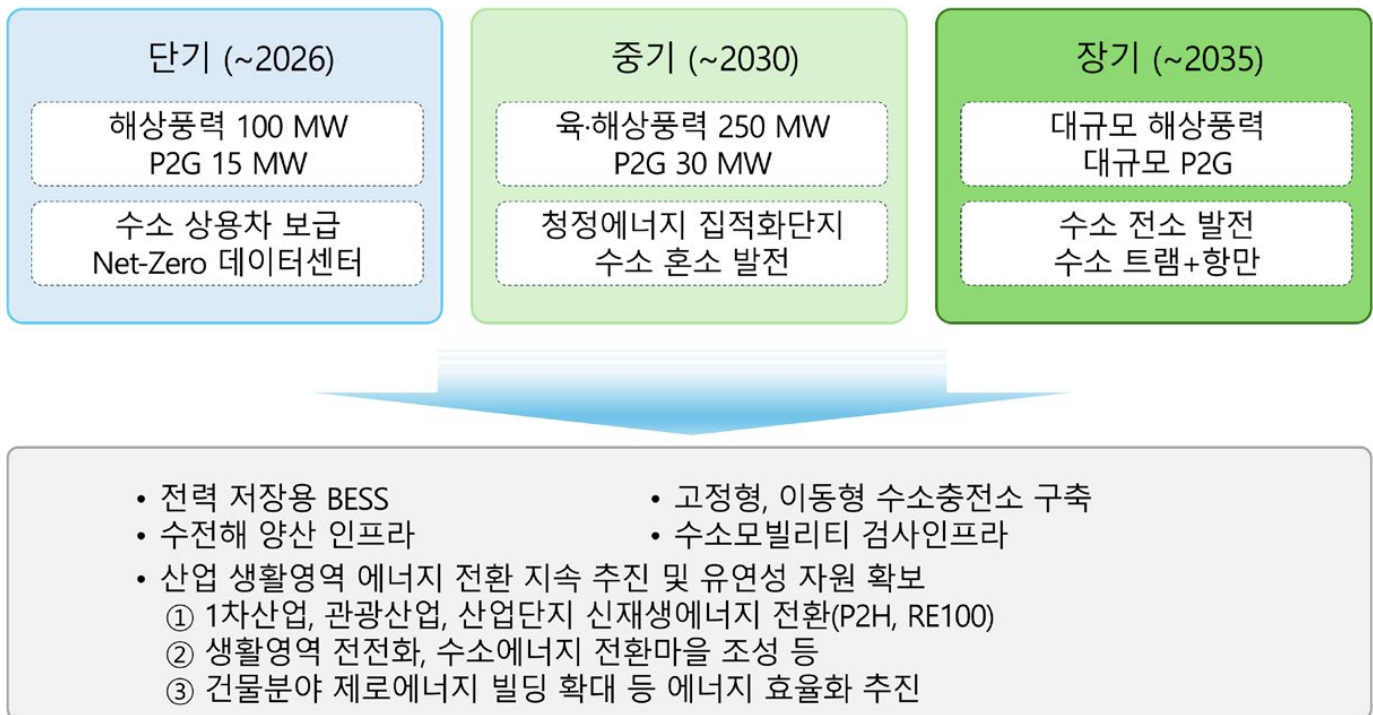
12 재생에너지·그린수소 기반 에너지대전환 시나리오, 제주특별자치도, 2024년 5월.

그림5. 재생에너지·그린수소 기반 에너지대전환 시나리오 목표



재생에너지 그린수소 기반 에너지 전환은 2035년을 목표로 해상풍력 확대와 수소 경제 전환을 골자로 하는 단계별 에너지 혁신 과제를 제시했다. 2026년에는 100 MW 규모의 해상풍력과 P2G(Power to Gas) 실증을 기반으로 수소 상용차 보급에 집중하며, 2030년까지 육·해상 풍력을 150 MW 추가 확대하고 수소 혼소 발전을 통해 청정에너지 집적화 단지를 조성할 계획이다. 그리고 2035년까지 대규모 P2G 및 수소 전소 발전 체계를 완성하고, 수소 트램과 항만 인프라를 연계한 모빌리티 생태계를 구축할 계획이다.

그림6. 재생에너지·그린수소 기반 에너지대전환 프로젝트



4.2 그린수소 생태계 조성 추진경과

제주는 소규모 파일럿에서 시작하여 대규모 상용화로 나아가는 단계적 전략을 추진 중이다. 이는 기술적 리스크를 관리하고 국산화율을 높이기 위한 필수적인 과정이다. 본 절에서는 2017년 첫 실증부터 2029년 예정 사업까지 추진 경과를 정리한다.

4.2.1 수전해 기반 그린수소 생산 기술 및 실증

2017년 '260 kW급 수전해 기술개발 및 실증사업'이 추진되었다. 상명풍력단지 재생에너지를 국내 수소전문 중소기업이 만든 수전해에 연결해 그린수소 생산이 가능한지를 실증하였다. 이 실증 사업은 대한민국에서 그린수소를 생산하는 최초의 사업으로 2021년 실증사업이 종료되었다.

2020년 '3.3 MW급 재생에너지 연계 그린수소 생산 및 저장시스템 기술개발'이 제주시 구좌읍 행원리에서 추진되었다. 실증내용은 3.3 MW급 수전해 시스템(국산 AEC 2 MW 및 PEM 0.3 MW, 해외산 PEM 1 MW)을 설계·구축하여 하루 600 kg의 그린수소를 생산하고 수소충전소 및 수소모빌리티 등에 활용하는 것이었다. 이 사업은 제주도 그린수소 생태계 조성의 핵심이 되는 생산단지로서 2025년 압축기 등 장비를 보강하면서 생산량을 하루 900 kg으로 늘렸고 현재 상용화 설비로 전환하여 운영 중이다.

표4. 3.3 MW급 재생에너지 연계 그린수소 생산 및 저장시스템 기술개발 사업개요

구 분	내 용
사업기간	2020년 10월 ~ 2024년 9월 * R&D 과제 종료 이후, 10월부터 상용화 운전
총사업비	222억원 (국비 135억, 도비 17억, 민간 70억)
과제내용	3.3 MW(2 MW AEC, 0.3 MW PEM, 1 MW 해외 PEM) 수전해 시스템 구축 및 실증 그린수소(600 kg) 및 배터리(2 MWh) 저장 시스템 구축 및 실증
참여기관 및 역할	수전해 시스템 구축 ① 수소에너지(국내 AEC 1 MW×2) ② 한국가스공사(국외 PEM 1 MW) ③ 두산에너지(국내 PEM 0.3 MW, 시스템 통합설계, 통합관리시스템) 인허가 등 제도지원 ④ 제주에너지공사(부지조성 인허가, 고압가스 인허가, 부지조성 공사) ⑤ 한국중부발전(안전관리방안) ⑥ 제주도청(충전소, 버스 도입, 인허가 지원) 인프라 구축 및 운영 ⑦ 지티씨(압축, 출하설비) ⑧ 조선해양기자재연구원(ESS) ⑨ 지필로스(전력변환장치(PCS), 통합제어시스템(PMS)) 경제성 분석 및 기반연구 ⑩ 제주대학교(미활용전력 분석 및 활용 평가) ⑪ 한국선급(경제성분석)

이 실증사업은 국내 최초로 재생에너지 연계 수전해 시스템의 기술 검증을 넘어 실효성 있는 상용화 단계로 활용할 수 있다는 것을 보여주면서 제주형 그린수소 생태계의 핵심 거점이자 에너지대전환을 견인하는 실질적 동력으로 자리매김하고 있다.

그림7. 3.3 MW급 재생에너지 연계 그린수소 생산 및 저장시스템 기술개발 현장



2022년에는 산업통상자원부가 주관하는 ‘10.9 MW급 재생에너지 대규모 그린수소 실증 기술개발’ 공모사업에 선정되었다. 현존하는 4가지 수전해 기술(PEM, AEC, AEM, SOEC) 실증을 통해, 하루 2.9톤의 그린수소를 생산하는 사업이다. 이 사업은 향후 기가와트(GW)급 대규모 생산 시설로 가기 위한 필수적인 징검다리 단계의 사업으로 대용량 수전해 운영 기술을 확보하고 경제성 및 상용화를 검증하는 목적으로 추진 중이며 2028년 상반기 준공을 목표로 하고 있다.

또한 같은 해 해양수산부 공모과제인 ‘해양재생에너지 연계 그린수소 생산기술 개발’ 실증사업에도 선정되었다. 이는 고정식 해양그린수소 실증 플랜트를 구축하고 파력 및 해상풍력 등을 이용하여 그린수소를 생산하는 사업으로 거친 해상 환경에서 안정적으로 에너지를 변환하는 복합 공정을 실증한다. 파력 연계 수전해 시스템, 해수 담수화 공정, 고정식 해상 플랫폼, 통합 원격 제어 시스템을 종합적으로 운영하면서 전력망 연결이 어려운 먼 바다에서도 에너지를 수소 형태로 저장해 활용하는 확장 가능성을 모색 중이며 2026년 12월 실증사업이 마무리될 예정이다.

2024년에는 국토교통부 주관 공모과제로 ‘RE100 기반 수소시험단지 인프라 기술개발 연구실증사업’에 선정되었다. 이 사업으로 수전해 1 MW, 수소저장 800 kg, ESS 3 MW(8 MWh), 연료전지 0.7 MW 시설을 구축하고 기업에 그린수소를 공급하고 활용하는 것을 실증한다. 이 사업은 대한민국 유일의 ‘RE100 실현’ 최적지인 제주에서 외부 전력 공급 없이 단지 내 에너지를 100% 자급자족하는 모델을 시험하는 사업으로 글로벌 RE100 요구에 대응하는 재생에너지 기반 전력 공급 인프라를 구축하고 운영할 예정으로 2026년 하반기 준공을 목표로 하고 있다.

이어서 2025년에는 산업통상자원부 주관 ‘5 MW급 플랜트형 PEM 수전해 시스템 개발사업’ 공모사업에 선정되었다. 이 사업은 재생에너지 기반 대용량 청정 수소 생산시설에 적용 가능한 플랜트형 PEM 수전해 시스템을 개발하고 실증하는 사업으로 기존의 소규모 실증을 넘어 상용화 단계로 진입하기 위한 국내 최대 규모의 PEM 수전해 기술 국산화 프로젝트를 추진한다는 데 의미가 있다. 이번 사업에서 실증하는 그린수소 기술의 국산화는 향후 해외 수전해 시장 진출을 위한 트랙 레코드로서 국가 산업 경쟁력 강화에 기여할 것으로 기대를 모으고 있으며 2029년 하반기 준공을 목표로 하고 있다.

4.2.2 수소 모빌리티 보급 확대

제주도는 교통부문 탄소중립을 실현하기 위해 그린수소를 중심으로 한 탄소배출이 없는 수소차 보급을 추진하고 있다. 제주에서 생산된 그린수소를 교통부문에 활용함으로써, 온실가스 배출을 감축하고 지역 내 에너지 순환형 저탄소 사회를 실현하려는 전략이다.

수소차는 수소탱크에 저장된 수소와 공기 중 산소가 만나 전기를 만드는 원리로 움직인다. 이 과정에서 전기를 생산하고 물만 배출되기 때문에 오염물질이 배출되지 않는다. 또한, 수소차는 전기차의 단점인 겨울철 주행거리 감소나 배터리 무게 등 중량 문제를 보완할 수 있는 친환경차량으로 주목받고 있다. 특히 중·대형 차량은 배터리 무게나 충전시간의 제약이 크기 때문에 친환경 교통체계 전환의 핵심 대안으로 떠오르고 있다.

제주도는 2035년까지 공공부문을 중심으로 수소버스 300대, 수소청소차 50대를 목표로 단계적으로 보급할 계획이다. 2026년부터는 수소승용차에 대해서도 민간보급을 본격적으로 추진하고 있으며, 보급 물량 79대 모집에 174대가 신청해 7월 전자추첨을 통해 최종 대상자를 선정하는 등 도민들의 높은 관심을 확인하였다. 기존 전기차 보급 정책과 함께 제주도의 친환경 차량 보급 정책은 더욱 확대될 것이다. 향후, 수소트램, 수소선박, 수소화물차, 수소지게차 등으로 보급 대상을 넓혀 수송부문 온실가스 감축 효과를 극대화할 계획이다.

4.2.3 수소 모빌리티 충전인프라 확충

수소차 확대 계획에 따라 수소충전소 인프라 또한 단계적으로 구축하고 있다. 현재는 함덕 그린수소 충전소와 도두동 이동형 수소충전소 2곳이 운영 중이며, 도내 94대(버스 22대, 청소차 1대, 승용 71대)의 수소차량이 이곳에서 충전하고 있다. 서귀포시 지역에서는 공공주도 수소충전소가 2027년 상반기 준공을 목표로 현재 설계 중이며, 이동형 수소충전소도 연내 추가로 구축될 예정이다. 아울러 민간기업에서도 제주 시내 지역에 수소충전소 구축사업을 추진할 예정으로 공공과 민간 부문에서 수소충전 인프라 확충이 본격화될 전망이다.

그림8. 그린수소 충전 인프라



함덕 그린수소 충전소



이동형 수소 충전소

4.2.4 제주도 그린수소 생태계 조성 성과 요약

2023년 11월, 함덕 수소충전소 개소와 312번 노선 수소 버스 운행 개시는 제주가 전국 최초의 그린수소 생태계를 실현했음을 공표하는 이정표가 되었다. 3.3 MW급 수전해 설비와의 유기적 연계를 통해 청정 에너지원의 안정적 공급 체계를 입증하였으며, 이후 지속적인 대책 실증과제 선정과 충전 인프라 및 모빌리티 확충을 통해 그린수소 생태계 외연을 확장하고 있다.

그림9. 그린수소 생태계 조성 추진 현황



3.3 MW 수소생산기지와 수소버스의 성공적인 시범 운영을 기반으로 2024년 11월부터 국내 최초로 그린수소를 유료화하여 15,000원/kg에 판매하고 있다. 이 가격은 초기 시장 형성 단계의 가격으로 정부와 지자체의 보조금이 반영된 시장 진입 가격으로 LCOH(균등화 수소생산비용)를 반영한 가격은 아니다.

한해 동안 충전횟수를 기준으로 3,670회(버스 2,090회, 승용 1,580회) 수소차량에 약 29톤을 공급하였고 2025년에는 충전횟수를 기준으로 7,178회(버스 5,526회, 승용 1,652회) 수소차량에 약 71톤을 공급하면서 그린수소 모빌리티 생태계가 확장되고 있다. 2026년 6월말 기준, 제주도에는 94대의 수소차가 등록되어 있다. 버스 22대, 청소차 1대, 승용차 71대 운영 중이다.

표5. 함덕 그린수소충전소 수소판매 현황

단위: kg

구 분	소 계	2023년	2024년	2025년
합 계	102,403	1,899	29,182	71,322
공공 버스	89,793	1,133	23,678	64,982
승 용	12,610	766	5,504	6,340

4.2.5 그린수소 글로벌 포럼

그린수소 글로벌 포럼은 에너지대전환을 통한 탄소중립 실현을 목표로, 수소경제 국제협력을 구체화하기 위해 개최하고 있다. 국내외 수소경제 선도국 및 전문가들과의 네트워크를 강화하여 혁신적인 기술과 정책을 공유하는 실질적인 교류의 장을 지향한다. 제주의 청정에너지 비전을 전 세계와 연결하고 지속 가능한 수소 생태계 조성을 위한 글로벌 연대를 견인하는 데 그 목적이 있다.

2023년 제1회 그린수소 글로벌 포럼이 개최되었다. 이 포럼은 2023년 11월 함덕 수소충전소 개소 및 수소버스 운행 개시 이전에 개최되었다. 수소 인프라가 공식 가동되기 이전의 시점에 개최되어, 실제 도시 환경에서 수소 경제가 작동 가능하다는 것을 선제적으로 보여주는 계기가 되었다. 이 포럼에서 국내 최초의 3.3 MW급 그린수소 생산 실증 단지와 수소 버스 운영 성과를 공유하며, 이론에 머물던 수소



경제가 실제 도시 인프라 내에서 작동할 수 있음을 입증하였다. 그린수소 글로벌 포럼은 매년 개최되고 있으며 국제에너지기구(IEA), 글로벌녹색성장기구(GGGI) 등 주요 국제기구와 독일, 노르웨이, 덴마크 등 수소 선도국과 개발도상국과의 협력 체계를 구축하기 위해 노력하고 있다.

표6. 그린수소 글로벌 포럼 개요

구 분		(제1회) 2023년	(제2회) 2024년	(제3회) 2025년
대주제		청정수소 선도국가, 지속가능한 국제적 협력을 향해	지속 가능한 청정수소, 혁신으로 나아가는 글로벌 동행	그린수소와 분산에너지로 여는 K-탄소중립 이니셔티브
개최일		10.23.(월)~10.25.(수)	6.17.(월)~6.19.(수)	9.24.(수)~9.26.(금)
프 로 그 램	1일차	학생 아카데미, 개발도상국 (네팔, 나미비아 등) 협력 세션, 개막식	글로벌 라운드테이블(주한대사), 학생 아카데미, 개막식 및 리더십 다이얼로그	수소 신산업 로드맵, 저장·운송 글로벌 표준화 세션
	2일차	글로벌 정책(미국 DOE 등) 모색, 제주 넷제로시티 전략, 글로벌 기업(두산, SK, 린데 등) 기술·투자 세션	분산에너지 활성화 전략 (지자체 연대), 그린에너지시티 조성, 수소 밸류체인 및 V2G 스마트 전략	재생에너지 전력믹스 (V2G), 학생 아카데미, 개막식 및 제주 미래비전 선포, 글로벌 라운드테이블
	3일차	기업 아카데미, 3 MW 생산시설 현장 투어	재생에너지 섹터커플링, 미래 모빌리티 전환 전략, 3.3 MW 사이트 투어	무탄소전원 전환, 열관리 협력(덴마크), 수소 모빌리티 및 탄소중립 도시 세션, 사이트 투어
전시 및 체험		실내외 기업관(안전관 포함), 수소 생산 실증시설 투어	수소버스 시승 체험(ICC ⇄ 여미지), 수소 드론·지게차 등 실외 전시	수소 청소차, 이동형 충전소 등 생활 밀착형 모빌리티 전시 및 44개 기업 부스
주요성과		수소경제 기본계획 이행 및 글로벌 네트워킹 발판	2035 탄소중립 비전 공유 및 분산에너지 특별법 시행 연계	K-탄소중립 이니셔티브 선포 및 시스템 통합 표준 제시

5. 그린수소 경제성 및 제도적 지원

그린수소 생태계의 지속 가능성을 담보하는 핵심은 '경제성 확보'이다. 현재 그린수소 생산 단가는 화석연료 기반 수소보다 1.5~6배 비싸기 때문에, 이를 극복하기 위한 정교한 경제 모델과 정책적 지원이 필요하다.¹³ 본 장에서는 제주의 그린수소 경제성 현황과 과제, 그리고 이를 보완하기 위한 청정수소 인증제와 분산에너지 특화지역 제도를 살펴본다.

5.1 그린수소 경제성

LCOH(Levelized Cost of Hydrogen)는 수소 1 kg을 생산하는 데 드는 총비용을 의미한다. 제주의 경우, LCOH 결정의 가장 큰 변수는 전력 구입 비용(SMP)과 수전해 설비 가동률이다. 3.3 MW 행원 그린수소 생산시설은 2020년부터 2024년까지 중앙정부 135억원, 지방정부 17억원, 민간기업 70억원 총 222억원을 투입해 수전해 구축과 실증을 목적으로 추진된 실증 사업이었다. 사업 종료 후, 제주에너지공사는 2024년 10월부터 지역 내 안정적인 그린수소 공급을 위한 적정 수소 생산량을 위한 가동률, 전력구매, 인력투입, 장비 유지보수 등 최적화를 진행 중이다.

본 보고서는 제주 그린수소의 정확한 LCOH 수치를 제시하지 못하는 한계를 가진다. 이는 상용화 운영이 시작된 지 얼마 지나지 않아 신뢰할 만한 운영 데이터가 충분히 축적되지 않았기 때문이다. 2024년 11월부터 적용하는 판매가 15,000원/kg은 시장 진입 가격으로 일부 보조금이 반영된 가격이다. 글로벌 비교 관점에서 국제에너지기구(IEA)는 중국에서 생산되는 재생수소가 유럽이나 미국 대비 40~45% 저렴하다고 분석하고 있어, 제주도 그린수소가 경쟁력을 확보하려면 추가적인 비용 절감 노력이 필요하다.

일반적인 산업용 전기를 사용할 경우 그린수소의 경제성은 매우 낮다. 그러나 출력 제어 시 버려지는 잉여 전력을 활용하거나, 플러스 DR제도를 통해 인센티브를 받을 경우 생산 단가를 획기적으로 낮출 수 있다. 잉여 전력만 사용하면 전력 비용은 낮아지지만, 수전해 설비의 가동 시간이 줄어들어 단위당 설비투자비(CAPEX) 부담이 커진다. 반대로 가동률을 높이려면 비싼 계통 전기를 써야 한다. 따라서 적정 수준의 가동률 확보와 저렴한 전력 공급 사이의 최적점을 찾는 것이 필수적이다.¹⁴

그린수소 경제성을 확보하기 위해서는 단일 기술, 단일 사업자 모델로는 한계가 있다. 재생에너지-수소생산-저장-부하를 연계한 '통합운영 모델'이 필요하며 이를 실행할 수 있는 소프트웨어와 하드웨어가 필수적이다. 제주의 분산에너지 특화지역 지정은 에너지 전환의 패러다임을 하드웨어 구축에서 소프트웨어 및 제도적 설계로 확장하는 계기가 될 것이다.

13 Christensen, A. (2020). Assessment of hydrogen production costs from electrolysis: United States and Europe. *International council on clean transportation*, 1 (1), 1-64.

14 Glenk, G., Reichelstein, S.(2019). Economics of converting renewable power to hydrogen. *Nat Energy* 4, 216-222.

5.2 대한민국 청정수소 인증제

초기 수소 정책은 수소차 보급과 연료전지 발전 등 활용 부문의 양적 성장에 집중하였다. 최근 정책 기조는 수소 생산 과정에서의 탄소 배출량을 엄격히 관리하는 청정성 확보에 중점을 두고 있다. 이러한 전환의 중심에 있는 청정수소인증제는 수소의 생산 및 수입 전 과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 객관적으로 측정하고, 이를 바탕으로 등급화하여 차등적인 행정적·재정적 지원을 제공하는 제도적 근간이다. 2024년 3월 4일부터 시행되면서 청정수소발전 의무화 제도(CHPS) 경쟁입찰 시장이 세계최초로 개설되었다. 이 제도는 청정수소로 발전한 전기를 전력당국이 매년 일정 규모 이상 의무적으로 구매하도록 하는 제도로 청정수소 생태계를 구축하기 위한 정부의 의지를 반영하고 있다.¹⁵

청정수소 인증을 받기 위한 온실가스 배출량의 한계치는 수소 1 kg 생산 시 발생하는 이산화탄소 환산량 (kgCO₂eq/kgH₂) 기준 4 kg 이하로 설정되었다. 이 수치는 미국의 인플레이션감축법(IRA) 지원 기준과 유사하며, EU와 일본의 기준보다는 다소 완만하지만 국내 에너지 인프라와 기술적 성숙도를 종합적으로 고려하여 결정되었다.

표7. 청정수소 인증제 등급기준

등급	배출량기준 (kgCO ₂ eq/kgH ₂)	기술적 기대 경로 및 특성
1등급	0.00~0.10	고효율 수전해(그린수소), 무탄소 전원 연계 시스템 등 최상위 탄소 저감 기술
2등급	0.11~1.00	고도화된 CCS가 적용된 블루수소, 재생에너지 혼합 수전해
3등급	1.01~2.00	일반적인 수준의 CCS 적용 블루수소, 저탄소 에너지 기반 추출 수소
4등급	2.01~4.00	탄소 포집 효율이 상대적으로 낮은 과도기적 블루수소 또는 저탄소 추출 경로

청정수소 인증제는 제주의 그린수소 생태계를 조성하는 데 큰 영향을 미칠 것이다. 첫째, 그린수소의 품질 공인과 시장 신뢰성을 제고한다. 제주에서 생산되는 그린수소는 풍력·태양광 등 재생에너지 기반의 수전해 방식으로 생산되어 온실가스 배출량이 가장 낮은 수준에 해당할 것으로 기대된다. 이를 공식 인증을 통해 국가가 객관적으로 검증함으로써, 소비자와 기업이 타 지역의 블루수소·그레이수소와 제주산 그린수소를 명확히 구별하고 신뢰를 바탕으로 선택할 수 있는 근거가 마련된다. 현재 제주는 대한민국 제1호 청정수소 인증 등급을 받기 위한 절차를 적극적으로 추진하고 있다.

둘째, 청정수소발전의무화제도(CHPS)를 통한 안정적 수요 창출을 기대할 수 있다. 온실가스 배출량이 적을수록 더 높은 등급과 인센티브가 부여되며, 인증된 청정수소는 CHPS에서 우대를 받게 된다. 발전사업자들이 의무적으로 일정 비율의 청정수소 발전을 이행해야 하는 구조 속에서, 최상위 등급에 해당하는 제주 그린수소는 제도적 수요를 안정적으로 확보할 수 있으며, 이는 현재 초기 상업화 단계에 머물고 있는 제주 그린수소 산업에 판로를 제공하는 핵심 기제로 작용할 것이다.

15 산업통상자원부 고시 제2024-34호, 「청정수소 인증제도 운영에 관한 고시」, 2024. 3. 4. 제정·시행.

셋째, 인증제도가 안착되면 민간 투자자 입장에서 사업 수익성을 보다 명확하게 전망할 수 있게 되어 대규모 설비 투자 결정이 앞당겨질 수 있다. 그리고 인증제도가 그린수소에 부여하는 프리미엄이 기존 화석연료 및 타 수소와의 가격 경쟁력 격차를 보완하는 수준으로 설계된다면, 제주 그린수소 산업의 지속 가능한 성장에 결정적인 기여를 할 것이다.

종합적으로, 대한민국 청정수소 인증제도는 제주도 그린수소 생태계에 있어 규제 이상의 의미를 가진다. 재생에너지 잉여 전력을 그린수소로 전환하는 제주의 전략은 인증제도를 통해 국가 차원의 공신력과 시장 가치를 부여받게 되며, 이는 투자 촉진, 안정적 수요 확보, 탄소중립 정책과의 정합성이라는 측면에서 제주 그린수소 산업의 도약을 위한 핵심 제도적 토대로 기능할 것이다.

5.3 분산에너지 특화지역 지정의 의미

2025년 11월 제주도가 정부의 분산에너지 특화지역으로 지정되었다. 제주도의 분산에너지 특화지역 지정은 중앙집중형, 화석연료 중심, 공기업 독점이라는 구시대적 에너지 체제와 결별하고, 분산형, 재생에너지 중심, 프로슈머 참여형 시장이라는 미래로 나아가는 정책이다. 이를 통해 제주도는 기존의 중앙 통제식 전력 시장 규제의 한계를 극복하고, 유연한 시장 제도를 도입해 전력망을 안정화하는 것을 넘어, 전력데이터를 기반으로 한 새로운 산업 생태계를 조성할 계획이다.

제주도의 분산에너지 특화지역은 신산업 활성화 유형으로, 가상발전소(VPP) 기반의 전기차 양방향 충전(V2G), 에너지저장장치(ESS), 새로운 수요혁신 기술(P2X) 등 세 가지 모델이 포함되어 있다.

그림10. 재생에너지 대응형 분산에너지 특화지역



이번 분산에너지 특화지역 지정으로 제주도는 2035년 탄소중립 목표 달성에 한 걸음 더 가까워졌다. 제주도는 2032년까지 VPP 기반 V2G 모델 36 MW, ESS 모델 60 MW, P2X 모델 57 MW 추진을 통해 총 153 MW의 유연성 자원을 확보해 전력계통 안정성을 높이고 재생에너지 보급을 확대할 계획이다.

그리고 특화지역 내 새로운 보상체계도 마련한다. 비선로 증설대안(NWAs), 전력-열 전환(P2H) 전용 요금제, 전력수요 관리(DR) 요금제 등을 도입해 도민들의 분산에너지 참여 여건을 개선하고 새로운 수익 기회를 제공할 계획이다.

분산에너지 자원에 참여하는 도민은 VPP 등 신성장 사업자와 함께하는 플랫폼을 이용해 스마트한 에너지 사용으로 비용을 절감할 수 있다. 또한 에너지를 생산하고 소비하는 주체(프로슈머)로서 도정 에너지 정책에 적극 참여하는 에너지 민주주의가 실현될 것으로 기대된다. 예를 들면, 전기차를 소유한 도민은 낮에 충전했다가 전력수요가 많은 시간에 전력망으로 다시 전기를 공급(V2G)해 수익을 얻을 수 있다. 도민들은 정보통신기술과 인공지능 기반 시스템을 통해 에너지를 스마트하게 사용함으로써 비용을 절감하고 안정적인 전력 공급에도 동참하게 될 것이다.

아울러 새로운 제주형 분산에너지 전력망은 기업들의 적극적인 투자 유치를 통해 일자리 창출과 지역경제 활성화를 이끄는 전망으로 제주도는 에너지 신산업 모델의 국내 확산과 글로벌 시장 진출의 교두보 역할을 할 것으로 기대하고 있다.¹⁶

그림11. 분산에너지 목표와 추진전략

(목표) 도민참여 분산에너지 신산업 육성과 재생에너지 자립 전환으로
글로벌 에너지 시장 선도 및 에너지 민주주의 실현

■ 분산자원 인프라

재생에너지 발전 비율 (2025)

제주 (최고수준)

24.3%

전국

10.69%
(2024)

전기차(EV) 보급률 (2026. 5월)

제주

11.65%

(48,305대 / 등록차량414,779대)

전국

3.95%
(1,053,623대 / 등록차량26,643,463대)

전력 소비 및 공급 (2024)



총 전력 소비량:
6,607 GWh
(최대수요 1,141 MW)



전력 공급 설비규모:
총 2,147 MW
(신재생 비중 55%)

■ 분산에너지 추진전략

IT기반 분산에너지 기업
생태계 조성



- 분산e 지원센터에 분산e 통합 관제센터 설치 운영
- 재생에너지 변동성 대응 ESS 확대 및 신기술 도입
- 다양한 재생에너지를 활용한 기술로 재생에너지 확대기반 마련

분산에너지 신산업 글로벌
시장 진출 기반 마련



- 다양한 분야 기술(전기차 V2G) 활용 분산특구 내에서 전력거래, 테스트베드를 통해 서비스 제공
- 실증기술 에너지 해외시장 진출
- 기업 육성 유니콘 기업 창출

함께하는 에너지
민주주의 실현



- 분산에너지 활성화 신산업 육성 → 실증기술 국내 확장
- 가정, 농가 P2H 확산 에너지 절감으로 분산에너지 활성화
- 분산e활성화 이익 환원, 새로운 전력서비스 제공 및 DR 활성화로 에너지 민주주의 실현

16 제주형 분산에너지 특화지역 계획, 제주특별자치도, 2025년 8월.

6. 개발도상국을 위한 ‘녹색성장 에너지 전환 모델’

제주도가 추진한 에너지 전환 정책과 성과, 시행착오와 극복 과정은 에너지 인프라가 부족하고 기후 변화에 취약한 개발도상국과 도서 국가(Small Island Developing States)들에게 실질적인 해법을 제시한다. 본 장에서는 먼저 제주 모델의 적용 적합성을 검토한 후, 단계적 적용 로드맵과 핵심 시사점을 제시한다.

6.1 제주 모델의 개발도상국 적용 적합성

개발도상국 및 도서 지역은 본토 전력망과 연계되어 있는 경우에도 계통 불안정성, 송전 손실, 공급 불균형 등의 구조적 한계로 인해 지역 내 자체적인 에너지 생산·소비 체계를 필요로 한다는 점에서 제주도의 에너지 환경과 유사한 특성을 공유한다. 특히 화석연료 발전에 대한 의존도가 높은 이들 지역에서는 재생에너지와 섹터커플링을 결합한 마이크로그리드가 에너지 자립 달성과 경제성 확보를 위한 유효한 정책 모델로 주목받고 있다.

나아가 해수면 상승으로 인한 실존적 위협에 직면한 태평양 도서국들에게 있어 ‘탄소 없는 섬(Carbon-Free Island)’의 비전은 단순한 환경 목표를 넘어 국가 존립과 직결된 핵심 아젠다로서 의미를 지닌다. 이러한 배경에서 제주 그린수소 생태계 모델은 개발도상국에 에너지·환경·산업 세 가지 차원에서 구체적으로 적용 가능하다.¹⁷

첫째, 사회적 비용의 근본적 저감이다. 그린수소로의 에너지 전환은 화석연료 기반 전력 생산 시스템이 수반하는 다양한 사회적 비용(Social Costs)을 구조적으로 줄여준다. 화석연료 발전은 탄소 가격 상승과 환경 오염에 따른 공중보건 비용 등 막대한 외부 효과를 유발한다. 반면 그린수소는 화석연료 기반 수소 대비 전 과정 온실가스 배출량을 대폭 절감할 수 있다. 특히 연료전지 방식으로 이용할 경우 사용 단계에서는 물과 열만 배출되어 대기오염물질 배출이 없다. 다만 수소를 직접 연소하는 방식에서는 질소산화물(NOx)이 발생할 수 있어 적절한 저감 조치가 병행되어야 한다. 이러한 측면에서 그린수소는 탄소배출권 구매 비용 절감과 함께 공중보건 개선 및 환경 복원이라는 사회적 편익을 제공할 잠재력을 지닌다.

둘째, 에너지 주권의 회복과 거시경제적 탄력성 강화이다. 에너지 소비량의 대부분을 수입 연료에 의존하는 도서 국가들은 국제 유가 변동에 따른 거시경제적 취약성이 매우 높다. 제주 모델과 같이 지역 내 재생에너지를 활용한 수소 생산 체계를 구축하면, 연료 수입에 따른 외화 유출을 방지하고 안정적인 가격으로 에너지를 공급할 수 있어 국가 전체의 경제적 회복력을 높이는 데 기여한다.

셋째, 다부문 탈탄소화를 통한 산업구조의 고도화이다. 그린수소는 발전 부문을 넘어 수송과 산업 전반의 탈탄소화를 가속화한다. 제주는 대형 상용차와 선박에 수소 모빌리티를 도입하는 다부문 탈탄소화 경로를 실증하고 있으며, 이는 산업구조가 단순한 도서 국가들이 기후 변동성에 대응하여 탄력적인 에너지 시스템을 구축하는 데 유용한 참조 모델이 된다. 특히 농업 비중이 높은 개발도상국에서 그린수소는 암모니아 생산을 통한 비료 자급률 향상과 식량 안보 강화라는 파생 효과를 제공하며, 경제구조를 단순 1차 산업 중심에서 청정 화학 산업으로 고도화할 수 있는 전략적 기회를 열어준다.

17 김자현, 한가희, 문희성. (2022). Jeju's 2030 Carbon-Free Vision Begins With Renewable Curtailment Freedom: Cost Analysis of Solutions to Renewable Curtailment on Jeju Island, South Korea. 기후솔루션, 넥스트그룹.

6.2 개발도상국을 위한 시사점

제주도는 카본프리 아일랜드 정책을 추진하는 과정에서 재생에너지의 간헐성 문제와 출력 제어가 빈번하게 발생하자, 전력생산의 친환경화를 넘어 '에너지 시스템 전체의 유연성 확보'로 정책의 패러다임을 전환했다. 재생에너지 설비를 늘리는 것만으로는 에너지 자립이 불가능하며, 잉여 전력을 저장하고 변환할 수 있는 '유연성 자원(Flexibility Resources)'의 확보가 매우 중요하다.

표8. 제주도 에너지 전환 정책 시사점

정책구분	CFI2030	에너지대전환 시나리오	시사점
핵심목표	전력자립 100%	2035 탄소 중립(Net-Zero) 달성	전력뿐만 아니라 난방, 수송 등 비전력 부문의 탈탄소화 필요성 대두
주력 에너지원	육·해상 풍력, 태양광	재생에너지 + 그린수소 (P2G)	재생에너지의 간헐성을 보완할 장주기 저장 매체(수소) 필요
전력망 전략	스마트 그리드 실증	분산에너지 특화지역, 섹터 커플링	중앙 집중형 제어에서 분산 자원 간의 유연한 연계로 전환
저장 수단	ESS (배터리) 위주	ESS + 수소 + 열 에너지	배터리의 한계를 넘는 다원화된 저장 믹스(Mix) 필요

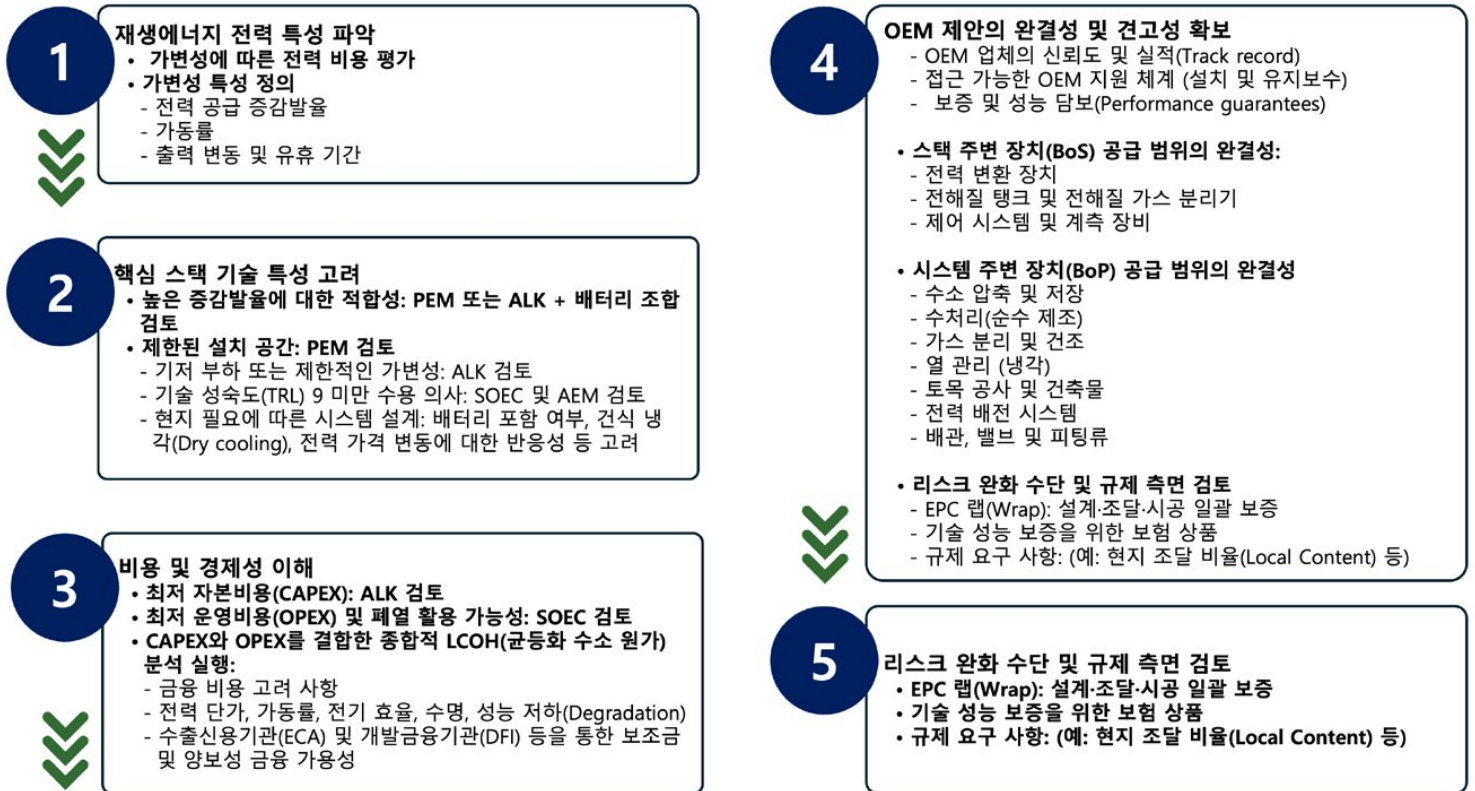
제주에서 추진하고 있는 에너지 전환 정책은 현재 진행형이다. 따라서 현재 시점에서 성공 여부를 판단하는 데 한계가 있다. 그럼에도 에너지 전환 실행 과정과 어려움을 극복하는 과정에서 축적된 유무형의 자산은 다른 지역에 의미 있는 참조가 된다.

세계은행의 '개발도상국의 그린수소 보고서'는 변동성 재생에너지(VRE) 만으로는 안정적인 에너지 공급이 어렵다는 점을 지적하면서, 태양광, 풍력 등 재생에너지의 계절적·일간 변동성을 완충하는 장기 에너지 저장 수단으로서 그린수소의 전략적 가치를 강조하고 있다. 이 보고서에서 에너지 전환 로드맵을 각 단계별로 제시하면서 개도국이 자국의 여건에 맞추어 참고할 수 있도록 구성하였다. 보고서는 에너지 전환에 필요한 기술적 검토사항과 경제성을 판단하는 데 매우 중요한 시사점을 제공하고 있다.

수전해 시스템을 도입하기 위해서는 먼저, 재생에너지의 전력 공급 패턴을 면밀히 분석해야 한다. 태양광·풍력 등 재생에너지는 날씨와 시간에 따라 발전량이 불규칙하게 변동하므로, 이러한 변동성이 전체 운영 비용에 어떤 영향을 미치는지 사전에 평가하는 것이 중요하다. 둘째, 현장 조건에 맞는 수전해 방식을 선택해야 한다. 전력 변동이 잦은 환경에서는 반응 속도가 빠른 방식이 적합하고, 설치 공간이 좁거나 안정적인 전력 공급이 가능한 환경에서는 상대적으로 설비 비용이 낮은 방식을 고려할 수 있다. 기술적으로 아직 성숙하지 않은 방식은 도입 리스크가 있으므로 신중하게 접근해야 한다. 셋째, 초기 설치 비용뿐만 아니라 운영 및 유지 비용, 설비 수명, 효율 저하 등을 모두 반영한 수소 생산 단가를 종합적으로 산출해야 한다. 또한 정부 보조금이나 국제 금융 지원 프로그램의 활용 가능성도 함께 검토할 필요가 있다. 넷째, 설비 공급업체를 선정할 때에는 과거 납품 실적과 사후 지원 역량, 성능에 대한 보증 여부를 꼼꼼히

확인해야 한다. 또한 수소 압축·저장·정제 등 수전해 설비 외의 주변 장치들도 공급 범위에 포함되어 있는지 검토해야 한다. 다섯째, 사업 추진 과정에서 발생할 수 있는 다양한 위험 요소에 대비해야 한다. 설계부터 시공까지 일괄 보증하는 계약 방식을 추천하며, 성능 보증 보험 가입 등을 통해 성능에 대한 리스크를 줄여야 한다. 아울러 현지 부품 조달 비율 등 관련 법규 및 규제 요건 등을 명확히 해야 한다.¹⁸

그림12. 수전해 도입을 위한 로드맵



출처: 수전해 장치의 시장과 기술적 특성, 세계은행, 2026년 2월.

세계은행 수전해 기술보고서가 강조하듯, 어느 하나의 '최적기술'은 존재하지 않으며, 현지 전력 공급 특성과 최종 수용 용도에 맞는 기술 선택과 함께 단계적·적정기술 접근이 요구된다.¹⁹

아래 로드맵은 제주도의 경험을 바탕으로 에너지 전환을 추진하는 과정에서 고려해야 할 제도적 기반 조성 및 거버넌스 구축, 적정기술 기반의 인프라 구축, 유연성 자원 확보 및 시장 제도 개편, 고도화 및 섹터커플링, 역량강화 및 협력 관점으로 구분하여 각 단계별로 정책목표와 적용 내용을 제시한다.

각 지역의 현지 여건이 상이하기 때문에, 에너지 전환을 위한 제도적 기반 조성과 거버넌스 구축이 필수적이다. 기존 에너지 시스템을 유지하면서도 탈탄소 경제로의 전환을 가능하게 하는 접근법과

¹⁸ 개발도상국 그린수소, 세계은행, 2020년 8월.

¹⁹ 수전해 장치의 시장과 기술적 특성, 세계은행, 2026년 2월.

함께 현지 적합형 적정기술이 함께 모색되어야 한다. 이러한 맥락에서 에너지 전환을 위한 단계별 참고 로드맵을 제안한다. 하지만, 각 단계는 반드시 순차적으로 적용되어야 하는 것이 아니며, 각 지역의 여건에 맞게 유연하게 적용할 경우 효과적인 에너지 전환에 기여할 수 있을 것이다.

1. 단계: 기반 조성 및 거버넌스

에너지 전환의 첫 단계는 제도적 기반 마련에 초점을 둔다. 바람과 태양광을 공공재로 규정하는 법적 근거를 마련하고, 발전 사업자의 수익 일부를 재생에너지 인프라 투자 재원으로 환원하는 구조를 구축한다. 단순한 목표 선언에 그치지 않고 부문별 실행 계획과 구체적 수치를 포함한 마스터플랜을 수립하며, 국제기구와의 협력을 통한 녹색 금융 조달 체계도 함께 마련한다.

2. 단계: 적정 기술 기반의 인프라 구축

현지 맞춤형 마이크로그리드 실증과 분산형 전원 확대가 핵심 과제로 제시된다. 재생에너지와 기존 시스템이 조화롭게 작동하는 하이브리드 방식으로 안정성을 확보하고, 현지 기후 환경에 적합하며 유지·보수가 용이한 ‘적정 기술’ 수준의 설비 도입을 추구한다. 아울러 현지 기술 인력 양성과 주민 참여형 프루슈머 모델 도입을 통해 지속가능한 운영 기반을 마련한다.

3. 단계: 유연성 자원 확보 및 시장·제도 개편

재생에너지의 변동성을 흡수하기 위한 에너지저장장치(BESS) 도입과 규제 완화를 통한 전력 거래의 유연성 제도가 필요하다. 개인간 전력거래(PPA) 및 가상발전소(VPP) 활성화를 위한 제도적 장치를 마련하고, 분산에너지 특화지역을 통한 시장 구조 개편도 병행한다.

4. 단계: 그린수소 생태계 조성 및 역량 강화

잉여 전력을 활용한 그린수소 생산과 모빌리티 등 탈탄소 산업 전반으로의 활용 확대를 추진한다. 전기차 배터리를 이동형 에너지저장장치로 활용하는 V2G 모델도 함께 구축된다.

5. 단계: 역량 강화 및 협력

시스템의 지속적 운영을 위한 현지 유지보수 인력 양성과 핵심역량을 갖춘 기업과의 파트너십 구축을 통해 장기적인 에너지 전환 역량을 확보하는 데 주력한다.

19 World Bank. (2026). *Electrolyzers for Hydrogen Production*.

표9. 개발도상국을 위한 에너지 전환 로드맵

단계	정책목표	적용 내용
1단계 (기반조성 및 거버넌스)	에너지 자원의 공공화 입법 등 제도 마련	- 바람과 태양광을 '공공재'로 규정하는 법적 근거 마련 (제주) 풍력자원 공유화 기금 모델 도입. 발전 사업자에게 매출액의 7% 또는 당기순이익의 17.5% 기부를 의무화하여, 이 재원을 에너지 취약계층 지원 및 재생에너지 인프라 투자에 활용
	명확한 로드맵 및 컨트롤 타워 수립	- 단순한 목표 선언이 아닌, 부문별 실행 계획과 구체적 수치를 포함한 마스터플랜 수립 (제주) 2012년에 카본프리 아일랜드 2030 정책계획을 수립하고 2019년 변경된 여건을 반영한 수정계획 수립. 출력제어 이슈 등으로 인해 2024년 5월, 2035년 탄소중립을 목표로 에너지대전환 시나리오 발표
	금융 조달	국제기구(MDBs)와의 협력을 통한 녹색 금융 조달 체계 마련
2단계 (적정 기술 기반의 인프라 구축)	현지 맞춤형 마이크로그리드 실증	- 화석연료 하이브리드: 화석연료를 완전히 배제하기보다 재생에너지와 조화롭게 작동하는 하이브리드 시스템으로 안정성 확보 - 자원 지도 구축 및 여건 분석: 풍황과 일사량에 대한 정밀한 데이터 확보 - 적정 기술 도입: 현지 기후 환경에 견딜 수 있고, 현지 수리가 용이한 범용 설비 도입 고려 - 역량강화: 현지 기술 인력 양성으로 지속가능한 운영 여건 조성 (제주) 카본프리 아일랜드를 테스트하기 위해 작은 규모의 파일럿 테스트를 진행했음. 당시 고가의 마이크로그리드 설비를 도입하였으나 유지보수 역량 부족과 잦은 고장으로 어려움을 겪음. 현지에서 대안을 마련할 수 있는 '적정 기술(Appropriate Technology)' 수준의 설비 도입
	분산형 전원과 주민 참여	- 대규모 발전소 중심이 아닌, 마을 단위 재생에너지 보급 확대 - 주민이 직접 전기를 생산하고 소비하는 프로슈머(Prosumer) 모델을 도입하여 수용성 증대 (제주) 난개발 방지와 주민 상생을 위한 '공공주도 신재생에너지 개발사업'을 확대하고 있음
3단계 (유연성 자원 확보 및 시장 제도 개편)	에너지 저장 장치(ESS) 및 유연성 자원 확충	- 재생에너지 변동성을 흡수할 수 있는 BESS 도입 (제주) 2015년부터 출력제어(Curtailment) 발생. 이를 해결하기 위해 BESS 설치 및 그린수소 프로젝트 실증 사업을 추진하고 유연성 자원 확충을 위한 제도적 장치 마련
	규제 샌드박스 및 전력 거래를 촉진하는 제도 보완	- 기존 전력시장 구조의 한계를 극복하기 위한, 개인간 전력 거래(PPA), 가상발전소(VPP)가 가능하도록 규제 완화 (제주) 분산에너지 특화지역을 통한 전력 거래 촉진을 위한 제도 보완 노력
4단계 고도화 및 섹터커플링	그린수소(P2G) 생태계 조성	- 출력제어로 버려지는 전력을 활용해 그린수소를 생산하고, 탈탄소 산업 분야에 활용 (제주) 그린수소 초기 생태계를 구축하고 모빌리티 분야 활용. 향후 산업 분야 활용 계획 수립
	전기차 양방향 충전(V2G) 활용	- 전기차 배터리를 '이동형 ESS'로 활용하여 그리드에 전기를 공급하고 수익을 창출하는 모델 구축 (제주) 양방향 충전기를 구축하고 26년부터 V2G 실증 사업을 추진 중
5단계 역량강화 및 협력	현지 유지보수 인력 양성 및 협력 파트너십 구축	- 지속적인 시스템 운영이 가능하도록 현지 유지보수 인력 양성 필요 (제주) 제주에너지공사에서 핵심역량을 갖춘 기업과 파트너십을 통한 P2G, V2G 프로젝트를 추진하고 있으며 핵심역량을 확보하기 위해 노력 중

참고 문헌

1. 대한민국정부 관계부처 합동. (2020). 2050 탄소중립 추진전략.
2. 산업통상자원부. (2021). 제1차 수소경제 이행 기본계획.
3. 산업통상자원부 고시 제2024-34호.(2024). 청정수소 인증제도 운영에 관한 고시, 2024. 3. 4. 제정·시행.
4. 에너지경제연구원. (2024). 2024 에너지통계연보.
5. 전력거래소. (2026). 2025년 연간 제주지역 전력계통 운영실적.
6. 제주특별자치도. (2012). 제주특별자치도 카본프리 아일랜드(CFI) 2030 계획.
7. 제주특별자치도. (2019). CFI2030계획 수정 보완 용역.
8. 제주특별자치도. (2024). 재생에너지·청정수소 기반 에너지대전환 2035 탄소중립 시나리오.
9. 제주특별자치도. (2025). 제주형 분산에너지 특화지역 계획.
10. 제주특별자치도. (2026). 혁신산업국(그린수소,에너지, 전기차) 현황 자료.
11. 제주특별자치도. (2026). 수소차 민간보급 보도자료(2026. 7. 8.)
12. 탄소중립녹색성장위원회. (2023). 제1차 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(2023~2042).
13. 한희진, 민상오. (2022). 제주 2030 카본프리(carbon-free) 아일랜드 정책의 성과와 과제: 한국의 탄소중립에 주는 시사점. *아시아연구*, 25(1), 347-374.
14. 김자현, 한가희, 문희성. (2022). Jeju's 2030 Carbon-Free Vision Begins With Renewable Curtailment Freedom: Cost Analysis of Solutions to Renewable Curtailment on Jeju Island, South Korea. *기후솔루션, 넥스트그룹*.
15. Kim, H. G., et al. (2025). Short-term load forecasting of Jeju Island considering the behind-the-meter solar power. *New & Renewable Energy*, 21(2), 52-59.
16. Christensen, A. (2020). *Assessment of hydrogen production costs from electrolysis: United States and Europe*. International Council on Clean Transportation.
17. Glenk, G., & Reichelstein, S. (2019). "Economics of converting renewable power to hydrogen". *Nature Energy*, 4, 216-222.
18. International Court of Justice (ICJ). (2025). *Advisory Opinion on the Obligations of States in respect of Climate Change*.
19. International Energy Agency (IEA). (2026). Global Hydrogen Review 2026.
20. World Bank. (2020). *Green Hydrogen in Developing Countries: Guidelines for Policymakers*.
21. World Bank. (2026). *Electrolyzers For Hydrogen Production*.
22. OECD OPSI, "Carbon-Free Island JEJU by 2030," 접속일: 2025년 12월 24일, <https://oecd-opsi.org/innovations/carbon-free-island-jeju-by-2030/>.





www.wbgkggtf.org