

25-02(통권 744호) 2025.11.05

# V I P

# 리포트

▣ 무탄소 에너지 전환을 위한 청정수소의 역할  
-Clean Hydrogen for Sustainable Energy Transition

# 목 차

## ■ 무탄소 에너지 전환을 위한 청정수소의 역할 - Clean Hydrogen for Sustainable Energy Transition

Executive Summary .....	i
1. 무탄소 전원의 확대 .....	1
2. 무탄소 유연성 전원으로서는 수소발전의 필요성 .....	3
3. 적정 수소발전 비중 분석 .....	8
4. 시사점 .....	14

□ 비상업 목적으로 본 보고서에 있는 내용을 인용 또는 전재할 경우 내용의 출처를 명시하면 자유롭게 인용할 수 있으며, 보고서 내용에 대한 문의는 아래와 같이 하여 주시기 바랍니다.

□ 산 업 연 구 실 : 박 신 영 연구 위원 (02-2072-6225, emmasypark@hri.co.kr)  
: 박 용 정 산 업 연 구 실 장 (02-2072-6204, yongjung@hri.co.kr)

## Executive Summary

### □ 무탄소 에너지 전환을 위한 청정수소의 역할

#### - Clean Hydrogen for Sustainable Energy Transition

##### ■ 무탄소 전원의 확대

정부는 『제11차 전력수급기본계획』과 『2050 탄소중립 시나리오』를 통해 2038년 및 2050년의 전원구성 전망을 제시하며, 무탄소 전원 확대를 핵심 전략으로 삼고 있다. 또한 최근 기후에너지환경부 출범을 통해 향후 재생에너지를 에너지 시스템의 중심축으로 삼는 대전환을 추진하고 2030년까지 보급량을 대폭 확대하겠다는 의지를 표명했다.

신정부의 탈탄소 의지를 기반으로 추진될 재생에너지, 원전 등의 무탄소 전원 확대는 탄소중립 달성에 필수적이지만, 재생에너지의 간헐성과 원전의 경직성은 전력 계통의 실시간 균형 및 안정성 확보와 관련된 과제를 수반하고 있다. 따라서 현 정부의 탄소중립 계획의 방향성을 유지하면서도 전력계통의 안정성을 확보하기 위해서는 무탄소 유연성 전원의 도입에 대한 전략적 고려가 필수적이다. 이에 본 보고서는 유연성 전원 필요성의 주요 배경을 점검하고 관련 시사점을 도출하고자 한다.

##### ■ 무탄소 유연성 전원으로서는 수소발전의 필요성

###### ① 전원구성 변화에 따른 전력망 불안정성 완화

한국의 전력계통은 타 국가와 연결되어 있지 않은 고립형 구조, 수요·공급의 지역적 불균형, 대규모 전력공급의 첨단산업 집약 등의 특수성을 지니고 있어 전력망의 안정성 확보가 중요한 과제로 제기된다. 이러한 상황에서 재생에너지 비중 확대와 전원구성 변화는 과전압 등 과거에는 보기 어려웠던 새로운 유형의 정전 사태를 유발할 수 있으므로 계통 유연성 확보를 위한 선제적 관리의 필요성이 한층 더 강조되는 상황이다.

###### ② 재생에너지의 간헐성 보완

재생에너지는 일조량, 풍속 등 자연환경에 직접적으로 의존하여 발전량이 시간대 및 기상 변화에 따라 급격히 변동한다는 측면에서 전력 수급 예측과 안정적 전력공급 측면의 불확실성을 보유하고 있다. 향후 재생에너지원 구성 전망에서 가장 큰 비중을 차지하는 태양광 및 풍력의 자연환경 조건만을 고려한 이론적 잠재량은 각각 137,347TWh, 2,266TWh로 예측되지만, 입지·기술 제약 등을 반영한 실제 달성 가능 보급량은 이론적 잠재량 대비 제한적일 것으로 분석된다(20년 기준). 실제 재생에너지 설비 입지 면적 제한은 토지 비용 및 재생에너지 균등화 받

전원가(LCOE)의 상승으로 이어질 가능성이 상존한다. 이는 결국 무탄소 전원구성에 있어 보완적 역할을 할 수 있는 에너지원의 활용 방안 모색이 요구되는 이유이기도 하다.

### ③ ESS 제한적 보급 한계 지원

ESS가 재생에너지의 간헐성을 해소할 수 있는 대안으로 각광받고 있는 상황에서 부지확보, 경제성, 안전성 등 선결해야 할 과제가 여전히 존재한다. ESS는 재생에너지 변동성 완화 및 전력계통 안정화에 기여하는 핵심적 도구로 글로벌 시장규모는 지속적으로 확대될 전망이다. 다만, 대용량 ESS의 전력망 연계 시, 발전소나 변전소에 준하는 계통 연계 기준이 요구되어 일반 주거 및 상업지역에는 설치할 수 없다는 입지 제약이 존재한다. 또한 단주기 전력 저장에 용이한 리튬전지 등 화학적 배터리의 경우 장주기 저장에 있어서는 비용·효율 측면에서 불리하다는 점에서 향후 대규모 재생에너지원의 활용을 위한 장주기 에너지 저장 믹스 방안 마련이 필요하다.

### ④ 원전의 경직성 보완

원전은 무탄소 에너지 전환에 중요한 역할을 할 수 있다고 평가되지만 동시에 경직성과 낮은 출력 조정성 등 기술적·운영적 과제를 안고 있다. 원전은 전력계통을 외부 충격으로부터 지탱하는 관성(Inertia) 제공을 통해 시스템 안정성 확보에 높은 기여도를 가진다는 장점을 가지고 있는 반면, 발전량을 신속하게 늘리거나 줄이는 출력 조절 유연성(Ramping flexibility) 측면에 있어 제한적인 역할을 가지는 것으로 평가된다.

### ⑤ 종합 : 전력계통 안정화 효과 향상

수소를 이용한 에너지 저장 및 발전은 재생에너지의 변동성과 원전의 경직성을 보완하는 역할을 통해 전력망 안정화에 기여한다는 장점이 있다. 수소는 잉여전력을 활용해 생산 및 저장(Power to Gas, P2G)을 해 두었다가 필요한 시점에 투입할 수 있다는 점에서 효율적이다. 특히 자연 방전이 없어 계절 단위의 장주기 저장이 가능하므로, ESS 단독으로 해결하기 어려운 대규모 에너지 저장 문제를 보완하는 효과적 대안이 될 수 있다는 점에서 긍정적이다. 또한 수소는 전력망뿐만 아니라 산업 및 수송 부문과 연계하여 활용할 수 있어 국가 탄소중립 실현을 뒷받침하는 핵심적인 에너지 매개체 역할을 수행할 수 있다.

#### ■ 적정 수소발전 비중 분석

본 보고서는 정부가 발표한 전력수요 전망을 토대로 재생·원전으로 이루어진 무탄소 전원구성에 유연성 제공원(ESS, 수소발전)을 조합하여 총 시스템 비용을

최소화하는 지점을 추정하였다. 분석 결과, 국가 전력수요 충족을 위한 무탄소 전원구성에서 수소발전의 적정 비중은 2040년 19.6%, 2050년 16.9%로 도출되었다. 또한 적정 수소발전 지점의 총 시스템 비용은 재생에너지의 변동성으로 인한 연간 전력수급 편차를 ESS 단독으로 대응할 때보다 5.8~6.8% 감소하는 것으로 나타났다. 결과적으로 수소발전이 재생 변동성 흡수와 계절 불균형 해소에 있어 유의미한 기능을 수행하며, ESS 단독 확충 대비 시스템의 효율을 높일 수 있음이 확인되었다. 이는 재생에너지와 원전으로 이루어진 무탄소 전원구성에 있어 일정 비율의 수소발전이 포함되는 것이 전력공급 안정성 및 경제성을 동시에 개선할 수 있는 전략임을 시사한다.

앞서 도출한 적정 수소발전량 달성을 위해 필요한 수소량과 더불어, 산업 및 수송 부문까지 감안한 2050년 국내 청정수소 총수요는 2,070만 톤에 달한다. 이러한 수요 충족을 위한 청정수소 공급 구성은 해외 도입 1,710만 톤(82.6%) 및 국내생산 360만 톤(17.4%)인 것으로 분석되었다. 이는 향후 우리나라 청정수소 공급 체계를 구축함에 있어 해외 도입과 병행하여 국내 청정수소 생산 역량을 지속 확충함으로써 에너지 자립도를 확보해 나가는 것이 무엇보다 중요하다는 점을 시사한다.

#### ■ 시사점

수소발전은 무탄소 전원구성의 계통 안정성 확보를 위한 유연성 전원으로 활용될 수 있으며, 이는 성공적인 탄소중립과 에너지 자립도 강화를 위해 중요한 요소이다. 국내 청정수소 생태계 조성을 위해서는 첫째, 청정수소발전이 계통 안정성 확보를 지원할 수 있는 유연성 전원으로 인식되는 것이 필요하다. 둘째, 수소발전 확대를 뒷받침할 안정적 청정수소 공급을 위해서는 국내 청정수소 생산 기반 마련이 필수적이다. 해외수입에만 의존할 경우 국제 정세에 따른 가격 변동 및 공급망 리스크 등 불확실 요소가 존재하므로 세제·금융 지원 등을 통해 청정수소 생산 투자에 대한 불확실성을 감소시키고 국내 청정수소 자급률을 제고해야 한다. 셋째, 국내외에서 생산·도입될 청정수소를 수용할 수 있는 액화·압축 저장시설, 전국을 잇는 배관망, 수소 인수 터미널 등 핵심 기반 시설의 선제적 구축이 필요하다. 넷째, 국내 청정수소발전 활성화를 위해 사업자 참여를 유도하는 실질적 시장 설계가 이루어져야 하며, 구체적 방안으로 청정수소발전의무화제도(CHPS)의 제도적 뒷받침이 필요할 것으로 판단된다. 다섯째, 수소경제의 본격적 확산을 위해서는 발전, 산업, 수송 부문을 아우르는 범부처 차원의 거버넌스 구축을 기반으로 유기적 정책연계에 힘써야 한다.

## 1. 무탄소 전원의 확대

○ 정부는 기후 위기 대응과 2050년까지 탄소중립 달성을 위해 무탄소 전원을 중심으로 한 에너지 전환 정책을 추진

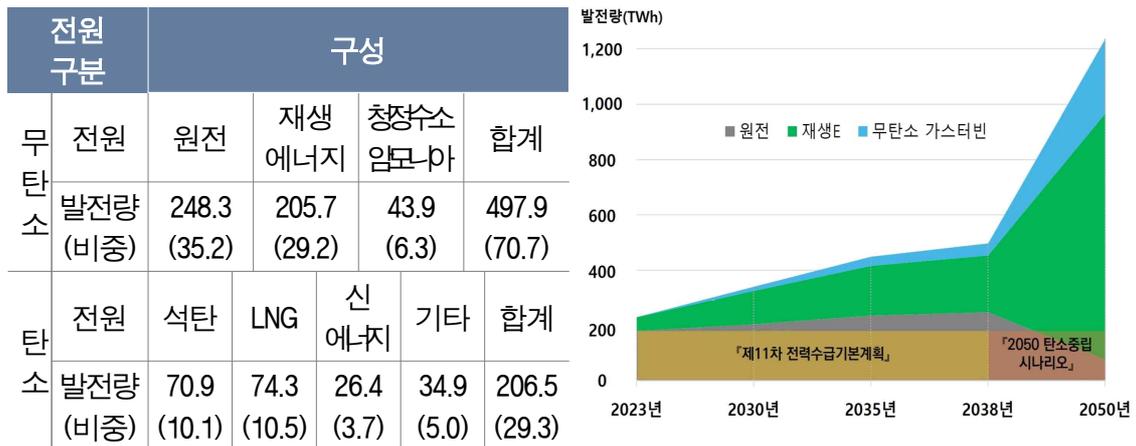
- 관계 부처는 『제11차 전력수급기본계획』 (‘25.03, 이하 ‘11차 전기분’)을 통해 탄소 발전의 축소 및 무탄소 전원의 확대 전략을 수립

- ‘23년 기준 탄소 및 무탄소 발전 비중은 각각 60.9%, 39.1%로, ‘38년까지 탄소 발전은 29.3%로 축소, 무탄소 발전 비중은 70.7%로 확대 전망
- 무탄소 전원구성에서 원전의 비중은 ‘23년 30.7%, ‘38년 35.2%, 재생에너지는 동기각각 8.4%, 29.2%, 청정수소·암모니아는 0.0%, 6.3%로 증가 전망

- 한편, ‘21년 발표된 『2050 탄소중립 시나리오』 (이하 ‘탄소중립 시나리오’)에서 2050년 화력발전 대폭 축소 및 재생·수소 기반 발전 확대를 계획1)

- ‘50년 기준 원전의 비중을 6.1%, 재생에너지는 70.8%, 무탄소 가스터빈은 21.5%로 제시
- 이후 정부의 에너지 정책 목표 재정립으로 인해 후속 계획인 11차 전기분은 무탄소 전원구성에서 원전의 비중을 유지·확대하는 방향을 반영

< ‘38년 전원별 발전량 및 비중 > < 연도별 무탄소 전원별 발전량 전망 >  
(단위: TWh, %)



자료: 산업통상자원부(2025.3), 관계부처 합동(2021.10) 기반 현대경제연구원 재구성.

주: (재생에너지) 태양광·풍력·수력·해양·바이오 (신에너지) 연료전지·IGCC (무탄소 가스터빈) 수소나 암모니아를 연료로 하는 터빈 발전.

1) 『2050 탄소중립 시나리오』는 화력발전 전면 중단으로 발전 부문 탄소배출량 제로화를 가정하는 A안과 화력발전 일부(LNG)를 유지하여 배출량이 잔존하는 B안으로 구성.

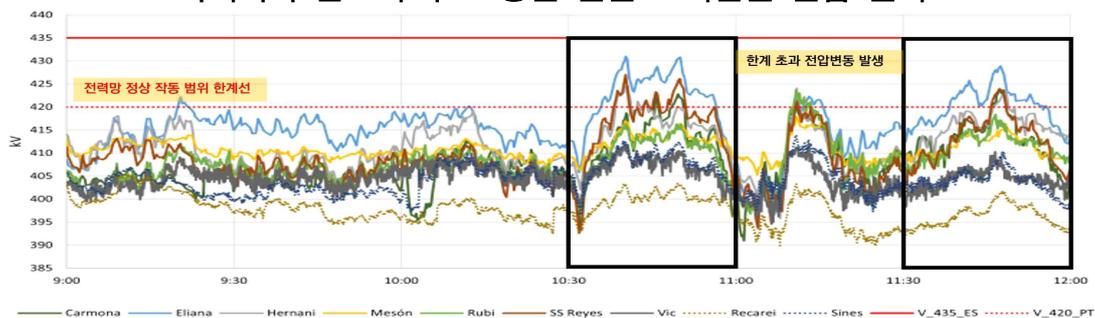
- 무탄소 에너지 전환을 목표로 하는 정부 정책 기조 하, 현 전원구성 계획의 실현 가능성 및 공급 안정성에 대한 고찰 필요
  - 환경부와 산업통상자원부의 에너지 정책기능이 통합된 기후에너지환경부(이하 '기후부') 출범으로 재생에너지 정책 뒷받침 강화 예상
    - 재생에너지 중심으로 에너지 체계를 대전환하고 현재 34GW 수준의 재생에너지를 2030년 100GW까지 확대할 계획
    - 이러한 과정에서 기저 전원으로서 원전 활용이 불가피하며 설계수명 임박 원전에 대해서도 안정성 검토 기반 수명연장이 필요함을 언급
  - 무탄소 전원구성으로 재생과 원전의 역할이 부각되는 상황에서, 각 전원의 특성에 따른 전력계통 안정성 확보와 관련된 이슈 검토가 필요
    - 화석연료 중심의 전력 구조 탈피와 무탄소 에너지 전환 정책을 추진함에 있어 전력 변동성, 송전망 제약, 에너지 안보 등의 과제에 직면함
    - 객관적이며 기술 중립적 관점에서 현 전원구성 계획의 실현 가능성 및 수소발전과 같은 유연성 전원의 필요성에 대한 고찰이 필요한 상황임
  - 재생에너지의 간헐성은 공급 예측의 어려움, 계통 안정화를 위한 추가 비용, 잉여전력 처리를 위한 ESS의 필요성 등과 같은 과제를 수반
    - 재생에너지 발전 설비용량이 늘어날수록 계통 수용성 한계로 인한 출력 제한(Curtailment)이 발생
    - 기존 기저 발전설비의 실시간 부하 패턴 변동성이 증가할 것으로 예측되어 향후 전력계통의 유연성 확보가 시급
  - 원전은 무탄소 에너지 전환에 중요한 역할을 가지지만 경직성 및 낮은 출력 조정성 등 해결해야 할 기술·운영 과제 상존
    - 시스템 안정성의 핵심 요소인 관성(Inertia)에 크게 기여하여 피크 용량 및 적정성 수요 충족에 중요한 역할
    - 하지만 출력 조절 유연성(Ramping flexibility) 측면에서는 타 유연성 제 공원에 비해 상대적으로 기여도가 낮음
- 이에 본 보고서는 무탄소 전원구성에 있어 유연성 전원으로서 수소발전의 필요성에 대한 주요 배경을 점검하고 관련 시사점을 도출하고자 함

## 2. 무탄소 유연성 전원으로서는 수소발전의 필요성

### ① 전원구성 변화에 따른 전력망 불안정성 완화

- 한국은 고립형 계통, 수요·공급의 지역적 불균형, 대규모 전력공급의 첨단 산업 집약 등과 같은 전력계통 특수성으로 인해 전력망 불안정성 이슈에 더욱 취약하여 선제적인 전력망 안정성 관리가 필수
  - 장거리 전력 송전망에 의존하는 구조로 소수의 대규모 송전선로에 문제 발생 시 전력계통 불안정성을 높이는 요인으로 작용할 가능성이 상존함
    - 특히 첨단 산업단지의 경우 생산 공정에서 대규모 전력이 필요하며 기업 경쟁력 유지를 위해 고품질 전력의 안정적 공급이 요구됨<sup>2)</sup>
- 전원구성 전환 과정에서 계통 안정성 수단 미확보 시 전력시스템 불안정으로 인해 과거 보기 어려웠던 새로운 유형의 문제 발생 가능성
  - '25년 4월 스페인·포르투갈 연계 전력망 마비로 인한 이베리아 반도 대정전은 이러한 위험을 현실로 보여준 대표적인 사례
    - 발전원의 재생에너지 의존도가 높은 상황에서 인근 지역과 전력망 연계의 불안정성 확대, 이는 시스템 전압 조정 능력 상실 및 대규모 정전 사태로 이어져 병원·통신·교통망이 마비되며 국가 비상사태 선포
  - 중국은 재생에너지 보급 확대에 따른 전력계통 불안정 완화를 위해 수소 전환·저장 기술 활용, 전력공급 신뢰성 및 회복 탄력성 강화 전략 추진<sup>3)</sup>

< 이베리아 반도의 주요 송전 변전소 시간별 전압 변화 >



자료: ENTSO-E(2025).

주: ('25.04) 수요가 낮은 오전 시간대 높은 재생에너지 출력으로 인한 전력망 정상 작동 전압 범위 한계 초과.

2) 대한상공회의소(2024), 『분산에너지를 활용한 전력수급 개선과 지역경제 활성화 방안』.

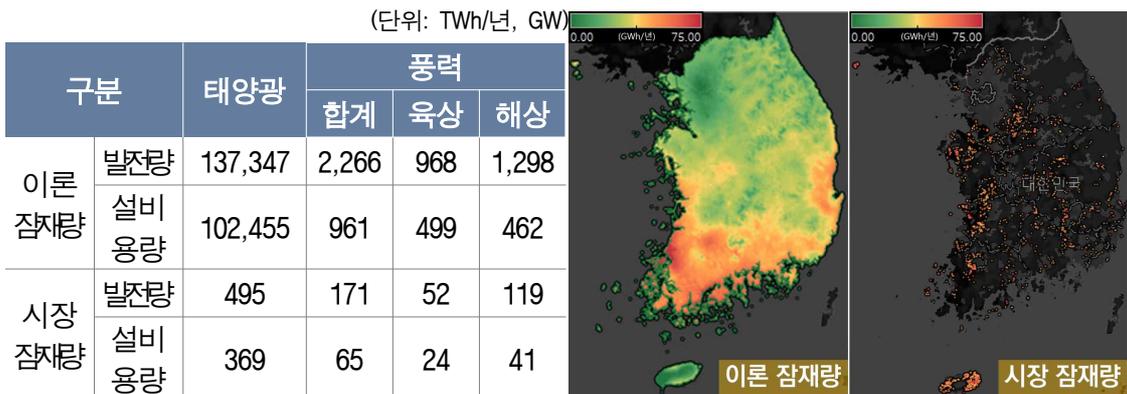
3) 중국의 수소사업 추진 사례 상세 내용은 <참고 1> 참조.

② 재생에너지의 간헐성 보완

- 재생에너지는 일조량·풍속 등 자연환경에 의존하기 때문에 발전량이 시간대 및 기상 변화에 따라 급격히 변동하여 전력 수급 예측이 불확실
  - 재생에너지 발전 비중의 확대는 계통 수용성 한계로 인한 출력제한(Curtailment)<sup>4)</sup>을 발생, 사용되지 못하고 버려지는 잉여전력 문제를 동반
    - 국내(제주 제외) 출력제어 횟수는 '22년 0회, '23년 2회, '24년 61회, '25년 90회로 매년 증가하고 있으며 전력 수급 불안정성 또한 확대 추세
- 또한 재생에너지원 대부분을 차지할 태양광·풍력의 실제 달성 가능 보급량은 정책·설치 입지 등 요인에 따라 이론 잠재량보다 적을 것으로 예측<sup>5)</sup>
  - 설치 가능 토지영역의 한계 등에 따라 실제 달성 가능한 태양광 및 풍력 보급량은 감소하는 것으로 분석
    - 태양광·풍력의 이론 잠재량은 각각 137,347TWh, 2,266TWh로 예측되지만 입지 제약 등을 반영한 시장 잠재량은 495TWh, 171TWh로 분석<sup>6)</sup>
    - 더욱이 재생에너지 설비 잠재 입지 면적 제한은 토지 비용 및 재생에너지 균등화 발전원가(LCOE)<sup>7)</sup>의 상승으로 이어질 가능성 상존

< 국내 태양광 및 풍력자원 잠재량 >

< 태양광 에너지 잠재량 지도 >



자료: 한국에너지공단(2020).

4) 과도한 재생에너지 공급과 변동성으로 인한 전력공급의 불안정성을 해소하기 위해 재생에너지 발전을 인위적으로 억제하는 것을 뜻함. 에너지경제연구원(2019), 『저탄소 전력시스템으로의 전환을 위한 전력시장 제도개선 방안 연구』.

5) 재생에너지 자원의 이론 잠재량은 자연환경 조건만을 고려, 시장 잠재량은 지원·규제정책 요인을 반영 시 실질적으로 활용 가능한 에너지양을 뜻함. 한국에너지공단(2020), 『2020 신재생에너지 백서』.

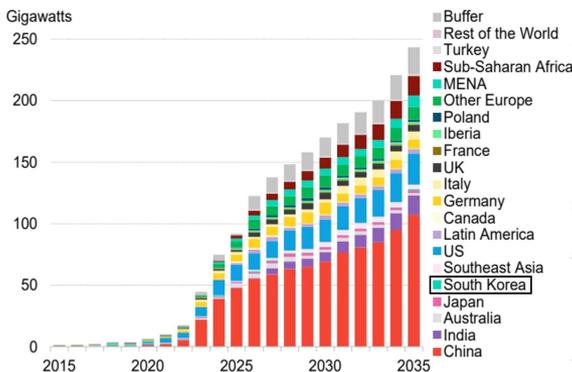
6) 재생에너지 시장 잠재량은 에너지원의 기술적 요인(설비효율, 이용률 등) 및 정부의 제도적 요인을 반영하므로 연산 시점에 따라 변화의 여지가 다분함.

7) LCOE(Levelized Cost of Electricity)는 발전량 단위(kWh)당 평균 발전비용을 의미.

### ③ ESS 제한적 보급 한계 지원

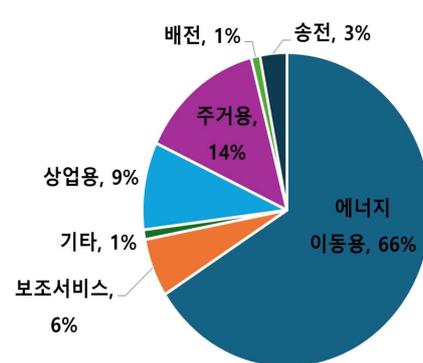
- ESS가 재생의 간헐성 해소방안으로 각광받고 있는 상황에서 부지확보, 경제성, 안전성 등을 고려 시 선결해야 할 과제가 여전히 존재
  - ESS는 재생에너지 변동성 완화 및 전력계통 안정화에 기여하는 핵심적 도구로 글로벌 시장규모는 지속 확대
    - '25년 글로벌 ESS 신규 설치는 92GW로 사상 최대 규모 기록 예상, 이후 '35년까지 약 23.0%의 연평균 성장률을 보일 것으로 전망<sup>8)</sup>
    - '22년 기준 국내 ESS 누적 설치량은 4.1GW로 나타났으며, '30년 용도별 비중 전망은 에너지이동용(66%), 주거용(14%), 상업용(9%) 순으로 전망<sup>9)</sup>
  - 다만, 대용량 ESS의 전력망 연계 시 발전소나 변전소에 준하는 계통 연계 기준이 요구되어 일반 주거 및 상업지역 설치가 어려운 입지 제약 존재<sup>10)</sup>
    - ESS 사업의 인허가 과정은 발전사업과 유사한 절차를 따르며 산업단지, 공업지역 또는 별도의 허가를 받은 계획관리지역 등에 입지해야 함
    - 더욱이 도심 등 전력 수요지 근처의 경우 대규모 부지확보에 높은 수준의 토지 매입 비용이 발생하여 사업의 경제성을 저하할 우려가 있음
  - 단주기 전력 저장에 용이한 리튬전지 등 화학적 배터리의 경우 장주기 저장에 있어 비용·효율 측면에서 불리하여 향후 대규모 재생에너지 활용을 위한 장기 에너지 저장 믹스 방안 마련이 필요<sup>11)</sup>

< 글로벌 ESS 신규 설치량 전망 >



자료: BloombergNEF(2025).

< ESS 용도별 비중 전망('30년) >



자료: 산업통상자원부(2023) 재인용.

8) BloombergNEF(2025), 『2025 Energy Storage Market Outlook』.

9) 산업통상자원부(2023), 『에너지스토리지(ESS) 산업 발전전략』.

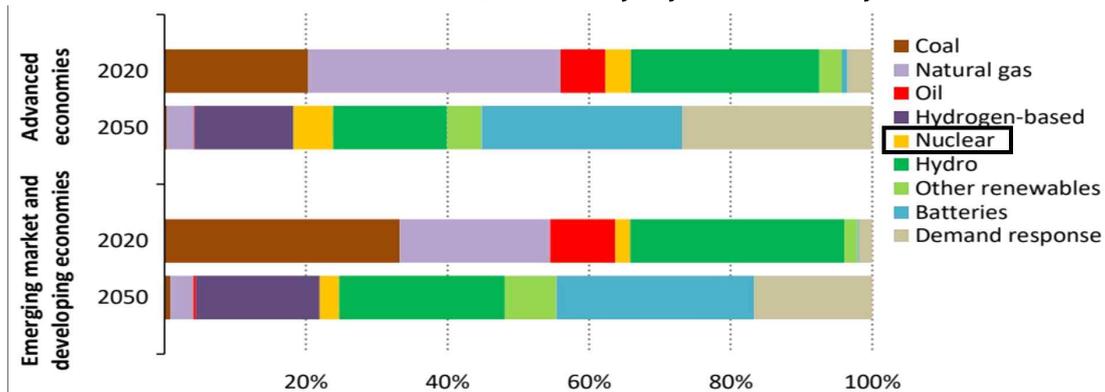
10) 법률사무소 솔라리스(2025), 『2025년 ESS 중앙계약시장 분석: 사업자가 알아야 할 법률 리스크와 전망』.

11) 산업통상자원부(2023), 『에너지스토리지(ESS) 산업 발전전략』.

④ 원전의 경직성 보완

- 원전은 무탄소 에너지 전환에 중요한 역할을 할 수 있다고 평가되지만 동시에 경직성과 낮은 출력 조정성 등 기술적·운영적 과제를 보유
  - 원전은 전력계통을 외부 충격으로부터 지탱하는 관성(Inertia) 제공<sup>12)</sup>을 통해 시스템 안정성 확보에 높은 기여도를 가짐
  - 다만 발전량을 신속하게 늘리거나 줄이는 출력 조절 유연성(Ramping flexibility) 측면에 있어 제한적인 역할을 가지는 것으로 평가<sup>13)</sup>
    - 원전은 출력조정(기동시간, 출력 조절 속도, 최소 출력비 측면)이 어렵고 기동에 3일가량 소요되는 경직성 전원에 해당
    - 재생에너지 비중이 확대됨에 따라 전력계통 유연성 확보 부담이 증가하고 있으며 경직성 전원인 원전은 이에 기여하는데 제약이 따름<sup>14)</sup>
  - 전원구성에서 재생·원전이 대부분 비중을 차지하는 프랑스<sup>15)</sup>는 원전 단력 운전을 부분 시행하고 있으나, 원전 투자 비용 회수를 위해서 90% 수준의 가동률로 유연성 없이 운영되어야 한다는 점에서 부분적 한계점을 내재<sup>16)</sup>

< 전원별 전력 시스템 유연성(Electricity System Flexibility) 기여도 >



자료: IEA(2021).

주: 전 세계적으로 화석연료 기반 발전(석탄, 천연가스) 축소 및 재생에너지 비중 증가에 따라 배터리 저장, 수소 등 유연성 자원의 비중이 증가할 전망이다  
반면 경직성 전원인 원전의 시스템 유연성 기여 비중은 낮은 수준.

12) 발전기 회전운동 에너지가 관성력을 제공, 전력망 균형이 급격히 흔들리지 않도록 완화 역할을 함.  
 13) IEA(2021), 『An energy sector roadmap to carbon neutrality in China』.  
 14) IEA(2021), 『Net Zero by 2050』.  
 15) 원전·재생이 전체 발전의 95.1% (원전 66.8%, 재생 28.3%). IEA(2024), 『Energy system of France』.  
 16) Göke et al.(2025), 『Flexible nuclear power and fluctuating renewables? – An analysis for decarbonized multi-vector energy systems. Energy Strategy Reviews, 60, 101782』.

⑤ 종합 : 전력계통 안정화 효과 향상

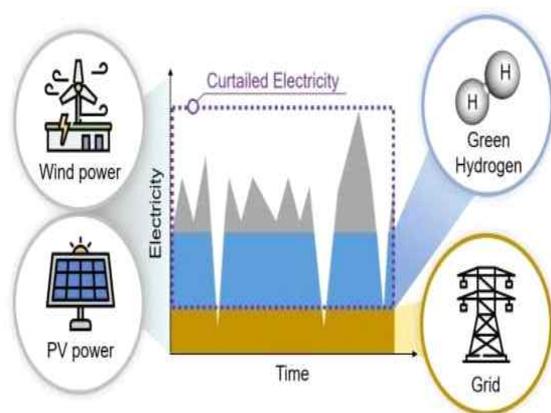
- 수소를 이용한 에너지 저장 및 발전은 재생에너지의 변동성 보완과 계통 유연성 확보 등을 기반으로 전력망 안정화에 기여
  - 수소 저장기술(Power to Gas, P2G)은 재생의 잉여전력을 저장할 수 있어 에너지 수요 편차 및 재생의 간헐성에 따른 수급 불균형 해소에 기여<sup>17)</sup>
    - 대표적 P2G 기술인 수전해를 통해 전력망이 수용하지 못하는 과잉 생산된 태양광·풍력 에너지를 장기 보관이 가능한 수소로 전환
    - 전기를 직접 저장하는 배터리(ESS) 방식 대비 자연 방전이 없고 대용량 저장이 용이, 단기 변동성은 물론 계절적 수요 편차까지 대응 가능
  - 저장된 수소는 필요에 따라 전력, 열, 수송 연료 등 다양한 형태로 변환하여 공급할 수 있는 유연성 자원으로 전력망의 복원력과 신뢰도를 제고
    - 연료전지나 가스터빈을 통해 필요시 전기로 재변환하여 재생에너지 발전량이 부족하거나 전력수요가 급증할 때 안정적으로 전력공급 가능
    - 전력망뿐만 아니라 가스망, 열배관망, 수송 부문과 연계하여 에너지를 공급할 수 있어 국가 전체 에너지 시스템의 회복 탄력성을 강화

< P2G와 ESS의 특징 비교 >

구분	P2G	ESS
저장형태	전력→연료 (단방향)	전력↔전력 (양방향 충방전)
기능/역할	신재생출력 안정화 (송전제약 해소)	신재생출력 안정화 (주피수,예비력)
설비용량(MW)	0.01~1,000	0.1~20
효율	60~70%	85~95%
특징	대용량 저장 가능	저용량 저장 한정

자료: 에너지경제연구원(2020).<sup>18)</sup>

< 재생에너지 잉여전력을 활용한 청정수소 생산 개념도 >



자료: 한국에너지기술연구원(2023).<sup>19)</sup>

17) 에너지경제연구원(2021), 『재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G 활용 방안 연구』.

18) 에너지경제연구원(2020), 『P2G 경제성 분석과 제주도 잉여전기 해소방안』.

19) 한국에너지기술연구원(2023), 『넘쳐나는 재생에너지, 그린수소 만든다』.

### 3. 적정 수소발전 비중 분석

#### ① 중장기 적정 수소발전 비중

○ (분석방법) 2040년 및 2050년 국가 전력수요 충족에 있어 유연성 전원으로 수소발전의 적정 비중을 비용 최소화 방법을 적용하여 도출

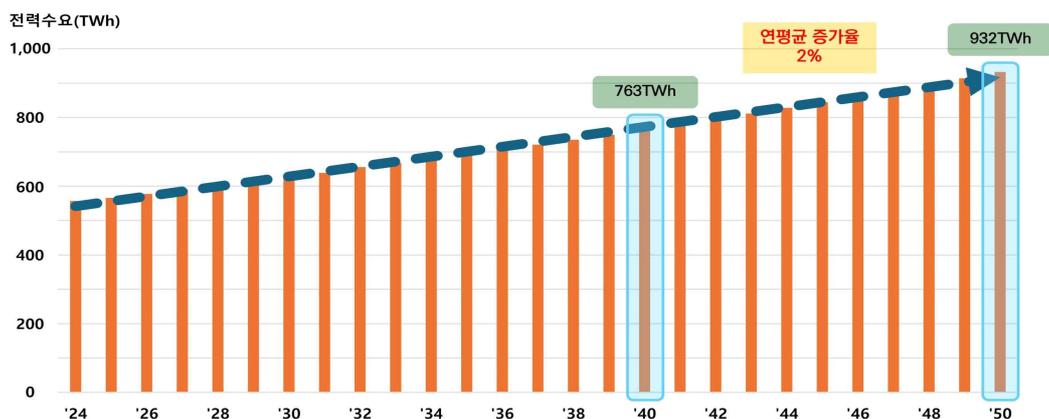
- 2040년 및 2050년 전원구성에서 무탄소 전원이 기존 탄소 발전원의 역할을 전면 대체하는 것으로 가정

- 무탄소 전원은 재생·원전·청정수소 발전으로 구성되며 중장기 전력수요를 충족하기 위해 석탄, LNG 등 탄소 발전원을 대체하는 것을 전제함
- 재생에너지의 변동성으로 인한 전력수급 불균형 보완 역할을 에너지저장장치(ESS) 및 유연성 전원인 수소발전이 수행함을 가정함

- 11차 전기본에서 제시된 2038년까지의 기준수요 전망을 기반으로 2040년 및 2050년의 전력수요를 도출

- 기준수요는 전력패널모형을 기반으로 전망된 모형 수요<sup>20)</sup>와 첨단산업 단지 조성, AI확산 등으로 인한 추가 수요를 합친 수치임
- 11차 전기본 기준수요 전망치에 연평균 증가율<sup>21)</sup>을 적용하여 2040년 763TWh 및 2050년 932TWh를 분석에 활용함

< 중장기 전력수요 전망 >



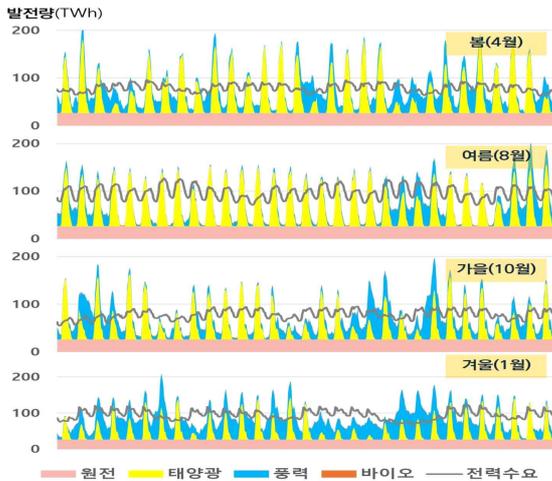
자료: 11차 전기본(2025)을 기반으로 현대경제연구원 추정.

20) 전세계 패널데이터(180여개국) 반영, GDP, 전력가격에 따른 수요 전망. 산업통상자원부(2025), 『제 11차 전력수급기본계획』.

21) 계획기간('24~'38년) 동안 전력 기준수요가 2.0% 연평균 증가율로 상승, 해당 증가율을 선형으로 적용하여 2040년 및 2050년 전력수요 전망치를 도출함.

- 중장기 연간 재생 및 원전 발전량은 각각 '24년 전국 재생 발전량 데이터와 11차 전기본의 '38년 원전 설비용량 전망 수치를 활용하여 산출<sup>22)</sup>
  - 한국전력거래소의 연간 태양광 및 풍력발전 데이터의 시간별 발전량 패턴을 적용하여 2040년과 2050년의 재생에너지 발전량 데이터를 도출
  - 재생에너지의 변동성으로 인해 발생하는 시간별 전력수요와 공급의 차이를 완충하기 위해 필요한 ESS 설비용량을 산정<sup>23)</sup>
- 중장기 전력수요를 충족하기 위한 무탄소 전원구성 조합을 비용 최소화 방법론을 적용하여 분석<sup>24)</sup>
  - 전원구성의 총비용은 전원별(재생에너지, 원전, 수소발전) 연간 발전비용 및 ESS 설비비용의 합으로 산출<sup>25)</sup>
  - 총비용이 최소화되는 지점을 기반으로 2040년 및 2050년 적정 무탄소 전원구성의 조합을 도출

< 계절별 전력수요 및 발전량 패턴 (' 40년)<sup>26)</sup> >



자료: 현대경제연구원 작성.

< 적정 무탄소 전원구성 분석 활용 데이터 >

구분	데이터 출처
전력수요	『제11차 전력수급기본계획』
재생E 시간별 발전량 패턴	한국전력거래소
전원별 이용률	NREL Annual Technology Baseline(ATB) 전망치 및 국내연구 결과 활용 <sup>27)</sup>
효율	NREL ATB, 2050 탄소중립 시나리오, 에너지경제연구원
LCOE	NREL ATB 전망치, 청정수소발전시장 입찰가 기반 추정

자료: 현대경제연구원 작성.

- 22) 무탄소 전원구성에서 원전의 설비용량은 제11차 전기본에 제시된 35.2GW('38년 기준)로 고정, 해당 용량은 이미 설치된 설비('23년)에 '38년까지의 사업자 계획과 신규 필요설비 용량을 반영한 수치임.
- 23) 재생에너지 발전이 전력수요를 초과할 때는 ESS가 남는 전기를 저장(충전)하고 수요가 공급을 초과할 때는 저장된 전기를 방출(방전)하여 시간대별로 발생하는 전력수요-공급의 차이를 완충.
- 24) 김동윤, 황민섭(2017), 『저탄소 에너지 전환을 위한 2030년 최적 전력 구성비 : 노후 원전 단계적 폐쇄와 INDC를 고려한 시나리오』.
- 25) (연간 발전비용) 전원별 발전량과 LCOE를 곱하여 산출, LCOE 값은 미국 국립재생에너지연구소(NREL)의 전망치와 국내 청정수소발전시장 입찰가를 활용하여 분석.
- 26) 재생·원전으로 이루어진 가상의 무탄소 전원구성으로, 재생에너지의 변동성으로 인해 발생하는 계절별 전력 수급 차이를 보여줌.
- 27) 이철용(2021), 『수소 가스터빈 발전 사업의 경제적 타당성 분석』.

- (분석결과) 2040년 및 2050년 국가 전력수요 충족을 위한 무탄소 전원구성의 적정 수소발전 비중은 전체 전력 발전량의 16.9~19.6%로 도출
  - 재생에너지, 원전, 수소발전으로 이루어진 무탄소 전원구성의 비용이 최소화되는 지점의 수소 발전량은 약 149.8~157.7TWh일 때로 분석됨
    - 2040년의 수요전망 763TWh 기준 적정 수소 발전량은 149.8TWh 수준으로 전체 발전량의 19.6%에 해당
    - 2050년 적정 수소 발전량은 수요전망 932TWh 기준 157.7TWh로 전체 발전량의 16.9%로 도출
  - 적정 수소발전 지점의 총 시스템 비용은 재생의 변동성으로 인한 연간 전력 수급 편차를 ESS 단독으로 대응할 때 대비 5.8~6.8% 감소
    - 필요 ESS 설비용량이 31.1%~38.1% 감소하며, 이로 인한 ESS 설비비용 감소가 총 시스템 비용 하락에 기여함
    - 이는 수소발전이 재생·원전 중심의 무탄소 전원구성에서 ESS와 보완적 방식으로 계통 유연성 확보에 기여할 수 있음을 시사
  - 탄소중립을 위한 무탄소 전원구성 설계에서, 재생에너지 확대를 뒷받침할 수 있는 유연성 전원으로서 수소발전의 적정 비중을 고려하여 에너지 체제 전환 과정의 효율 향상 효과 기대
  - 한편 탄소중립을 위한 적정 발전원 구성에 관한 선행 연구 결과를 살펴보면 수소발전의 적정 비중을 20~30%로 전망<sup>28)</sup>

< 중장기 적정 수소발전 비중 >

(단위: TWh, %)

구분	전력 수요	적정 수소 발전량 및 비중
2040년	763	149.8 (19.6)
2050년	932	157.7 (16.9)

자료: 현대경제연구원 작성.

< 2050년 최적 전원구성 선행 연구 >

선행연구	주요 내용
Lee, et al. (2024)	- '50년 탄소중립 달성을 위한 수소에너지 최적 비중을 총 전력 발전량의 36.0%로 도출
사단법인 넥스트 (2024)	- 비용 효과적 탄소중립을 위한 '50년 전원구성의 수소에너지 비중을 22.5%로 전망

자료: Lee, et al. (2024)<sup>29)</sup>, 사단법인 넥스트(2024).<sup>30)</sup>

28) 2050년 최적 전원구성 선행연구의 상세 내용은 <참고 2> 참조.

29) Lee, et al. (2024), 『Analysis of the role of hydrogen energy in achieving carbon neutrality by 2050: A case study of the Republic of Korea』.

30) 사단법인 넥스트(2024), 『대한민국 2050 탄소중립 시나리오 K-Map 2.0』.

## ② 중장기 청정수소 수급 분석

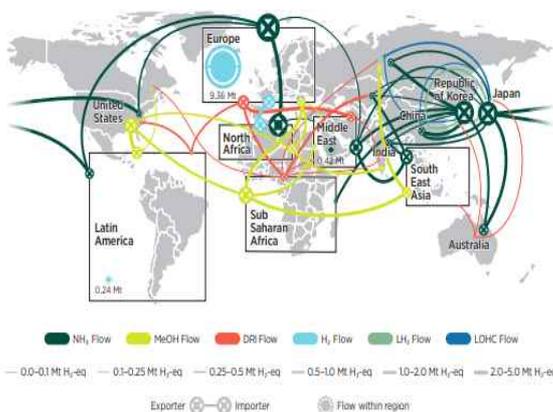
- (분석방법) 국내 중장기 청정수소 수급 분석을 위해 2050년 발전·산업·수송 부문의 총수요 및 국·내외 공급 물량을 산출
  - (수요 : 발전 부문) 청정수소 수요는 본 연구에서 도출된 2050년 적정 수소 발전량 달성을 위해 필요한 수소량으로 가정
    - 11차 전기본 전력수요 전망을 기반으로 추정한 2050년 전력수요 932TWh를 기준으로 분석한 적정 수소 발전량은 157.7TWh
    - 발전 부문 수소 수요량은 적정 수소 발전량을 수소저위발열량 (33.3kWh/kg)과 수소발전 효율(60%)을 곱한 값으로 나누어 산출<sup>31)</sup>
  - (수요 : 산업·수송 부문) 『제1차 수소경제 이행 기본계획』에서 제시된 2050년 부문별 청정수소 수요량을 인용
    - (산업) 수소 활용 기반 마련을 위해 수소산단 조성, 철강 산업 수소환원 제철 공정 전환, 석유화학·시멘트 산업 연료·원료의 수소 대체를 제시
    - (수송) 수소 모빌리티 선도를 위한 수소차 보급 확산, 수소선박 개발, 트램·드론·항공 등 수소모빌리티 다양화, 구매·연료비용 보조 등을 제시
  - (공급 : 해외도입) 현시점 기준 국·내외 발표를 통해 제시되어 있는 한국의 2050년 청정수소 해외도입 물량을 인용
    - (해외수입) 국제재생에너지기구(IRENA)의 국제 그린수소 교역 전망<sup>32)</sup>에서 제시된 한국의 2050년 해외 수입량 전망치 활용
    - (해외생산) 『제1차 수소경제 이행 기본계획』에서 제시된 국내 자본·기술을 활용한 해외 청정수소 생산량 인용
  - (공급 : 국내생산) 2050년 국내 총 청정수소 수요량에서 도입이 전망되어 있는 해외 물량을 차감한 잔여량을 국내생산 필요 공급량으로 산출

31) 에너지경제연구원(2022), 『에너지포커스: 수소·암모니아 가스터빈 발전의 기술 동향 및 전망』.

32) 공급망 전반(재생 발전·생산·운송·활용)을 고려한 비용 최적화 모델 기반 2050년 수소 국제무역 양상을 분석. IRENA(2025), 『Analysis of The Potential for Green Hydrogen and Related Commodities Trade』.

- (수급전망) 발전·산업·수송 부문의 '50년 청정수소 총수요는 약 2,070만 톤으로 추정, 공급 구성은 해외도입 82.6% 및 국내생산 17.4%로 분석
- (수요) 발전 부문의 청정수소 수요는 본 연구에서 도출된 2050년 적정 수소발전량 달성을 위해 필요한 수소량 약 790만 톤으로 예측
- 산업과 수송 부문 청정수소 수요는 『제1차 수소경제 이행 기본계획』에 따라 각각 1,060만 톤과 220만 톤으로 전망
  - 산업부문 로드맵 : 신규·노후 산업 수소연료 사용, 수소환원제철 전환, 석유화학·시멘트 산업 공정에 수소와 같은 친환경 연료 활용 확대 계획
  - 수송부문 로드맵 : 수소차 보급 대수를 '30년까지 88만 대(수소 수요 37.7만 톤), '50년까지 526만 대(수소 수요 220만 톤)로 확대 목표
- (공급) 2050년 국내 청정수소 수요 충족을 위한 청정수소 공급 포트폴리오는 해외도입 1,710만 톤 및 국내생산 360만 톤으로 나타남
- (해외도입) 2050년 해외도입이 전망된 청정수소 물량은 총수요의 82.6%로 예상
  - 국제재생에너지기구(IRENA)의 글로벌 그린수소 교역량 전망에 따르면 2050년 한국의 그린수소 수입 물량은 약 590만 톤
  - 『제1차 수소경제 이행 기본계획』은 '50년 해외생산(우리자본·기술 활용 기반 호주 등 해외에서 생산) 청정수소 물량 1,120만 톤 제시
- (국내생산) 2050년 해외도입 그린수소 물량을 제외한 국내생산 필요 청정수소는 총수요의 17.4%로 추정

< 2050년 국제 그린수소 무역 양상 >



자료: IRENA(2025).

< 2050년 청정수소 수급 구성(안) >

(단위:만톤,%)

구분	내용				
	전환	산업	수송	합계	
수요	790	1,060	220	2,070	
	(38.2)	(51.2)	(10.6)	(100.0)	
공급	해외도입			국내생산	합계
	소계	해외수입	해외생산		
	1,710	590	1,120	360	2,070
	(82.6)	(28.5)	(54.1)	(17.4)	(100.0)

자료: 현대경제연구원 작성.



#### 4. 시사점

- 수소발전은 무탄소 전원구성의 계통 안정성 확보를 위한 유연성 전원으로 활용될 수 있으며, 이는 성공적인 탄소중립과 에너지 자립도 강화를 위해 중요한 요소로 국내 청정수소 생태계 조성을 위한 전략이 뒷받침될 필요

첫째, 청정수소발전을 계통 안정성 확보를 지원할 수 있는 유연성 전원으로 인식하는 것이 필요하다.

- 재생에너지의 간헐성과 원전의 경직성이 높은 비중을 차지하는 전력망은 실시간 수급 균형을 맞추기 위한 계통 보조 자원을 요구함
- 성공적인 탄소중립 전환을 위해서는 유연한 출력 조절이 가능한 수소발전을 재생에너지와 원전을 보완하는 유연성 자원으로 인식하는 것이 필요함
- 따라서 이러한 수소발전의 역할을 규정하고, 전체 시스템 효율성 제고 관점에서 수소발전 계획을 마련하는 것도 중요함
- 나아가 장기적이고 일관된 정책 로드맵을 수립하여 안정적인 무탄소 에너지 시스템을 체계적으로 구축해야 할 필요가 있음

둘째, 수소발전 확대를 뒷받침할 안정적 청정수소 공급을 위해서는 국내 청정수소 생산 기반 마련이 필수적이다.

- 수소발전 확대는 안정적인 청정수소 공급을 전제로 하지만, 과도한 해외 의존도는 국제 정세에 따른 가격 변동성 및 공급망 리스크에 노출되어 공급 안정성 확보에 제약요인으로 작용할 수 있음
- 따라서 국내 청정수소 생산 기반을 확충하는 것이 핵심적인 과제로 이는 국내 산업 생태계를 활성화하고, 기술 주권을 확보하며, 양질의 일자리를 창출하는 경제적 효과까지 기대할 수 있음

- 다만, 이러한 국내생산 기반 확충이 실질적인 성과로 이어지기 위해서는 청정수소 생산기술의 지속적인 고도화와 비용 절감을 통한 경제성 확보가 필수적임
- 또한 유럽의 수소 생산 보조금, 탄소차액계약거래(CCfD) 등과 같이 생산 인센티브를 획기적으로 강화하여 국내 청정수소 생산기업이 실질적인 사업성을 확보할 수 있는 정책 지원이 병행될 필요

셋째, 국내외에서 생산·도입될 청정수소를 수용할 수 있는 액화·압축 저장시설, 전국을 잇는 배관망, 수소 인수 터미널 등 핵심 기반 시설의 선제적 구축이 필요하다.

- 정부와 공공부문 주도의 수소 생산, 도입, 저장, 유통을 위한 핵심 시설의 선제적 구축은 민간 기업이 관련 투자를 확대할 수 있는 기반을 제공해 수소경제 활성화를 유도할 수 있음
- 특히 향후 증가할 국내생산 및 수입 물량의 원활한 처리를 위해 대규모 액화·압축 저장시설, 전국을 연결하는 수소 배관망, 수소 인수 터미널 등 핵심 인프라 구축 계획을 조속히 구체화하고 실행할 필요가 있음

넷째, 국내 청정수소발전 활성화를 위해 사업자 참여를 유도하는 실질적 시장 설계가 이루어져야 한다.

- 실질적 시장 활성화를 위해서는 사업자가 장기적 관점에서 신뢰할 수 있는 입찰시장 제도와 정책 환경이 마련되어야 하고, 현재 제도 도입 초기 단계인 점을 감안할 때 기술 불확실성과 초기 투자 리스크를 감안한 유연한 제도 설계가 필요함
- 청정수소 발전은 대규모 장기투자가 필요한 신기술 분야로, 사업 준비기간을 충분히 부여하는 것이 중요한 바, 부지정비 및 건설 등에 합리적 기간을 담보할 필요가 있음
- 참여 요건, 금융지원 등 제도적 완화와 지원을 통해 기관, 기업 등 시장 참여자의 자발적 유인을 구조화 하는 노력이 병행될 필요

- 궁극적으로 실질적 시장 설계의 일환으로 투자 참여를 높이기 위해서는 중장기 로드맵과 연계된 청정수소 인증제와 청정수소발전의무화제도 (CHPS) 등 관련 제도 정착을 통해 장기적 안정성과 신뢰성 확보가 담보되어야 할 것임

다섯째, 수소경제의 본격적 확산을 위해서는 발전, 산업, 수송 부문을 아우르는 범부처 차원의 거버넌스 구축을 기반으로 유기적 정책연계에 힘써야 한다.

- 수소경제는 발전, 산업, 수송 부문이 유기적으로 연결된 종합적인 생태계인 만큼 부처별로 정책이 단절되고 인프라 투자가 중복되는 비효율을 방지하고 시너지를 극대화하기 위해 범부처 차원의 거버넌스 체계 및 컨트롤타워가 필수적임
- 이를 통해 발전 부문의 저탄소 전원체계 전환, 산업 부문의 탄소중립 달성 정책 등이 긴밀하게 연계되도록 조율하는 역할 수행이 필요함
- 나아가, 인프라 구축, 기술 개발, 인력 양성, 국제 협력 등 수소경제 전반의 정책적 일관성을 확보하여 대한민국이 미래 수소경제 선도국으로 도약하기 위한 전략 마련도 병행되어야 함 **HRI**

박신영 연구위원 (2072-6225, emmasypark@hri.co.kr)  
박용정 산업연구실장 (2072-6204, yongjung@hri.co.kr)

### < 참고 1 > 중국의 수소사업 추진 사례

○ 수소를 탄소중립 목표 달성을 위한 산업 탈탄소 핵심 수단이자 에너지 안보 및 경제 성장 핵심 동력으로 인식, 관련 산업 확장 적극 지원

- 전체 탄소 배출량 약 27.4%를 차지하는 산업 부문(철강, 화학 등) 감축 필요성 증대로 수소환원제철, 그린암모니아 등 수소에너지의 역할 부각
  - 2024년 전체 수소 생산·소비량 (약 3,650만 톤) 중 공정용 수요는 합성메탄올(27%)과 합성암모니아(26%)가 가장 높은 비중 차지
  - 주로 석탄, 천연가스, 그레이수소를 원료로 사용, 향후 그린수소로의 대체율이 증가할 전망
- 재생에너지 보급 확대에 따른 전력계통 불안정 완화 위해 전력-수소 전환·저장 기술 활용, 에너지 공급 신뢰성 및 회복탄력성 강화 전략 추진
  - 수소는 대규모 발전원으로 활용이 가능하며 수요 피크 시 전력 조정 및 주파수 조정 기능을 수행, 또한 수전해 기반 그린수소 연계 전력-수소-전력 구조는 계통 안전성 개선에 큰 효과
  - 아울러 수소의 장기 저장 가능성을 바탕으로 계절적 전력 수급 격차를 완충하는 데 기여할 수 있음

#### < 중국 수소에너지 산업 발전 중장기 계획(2021-2035년) 주요 목표 >

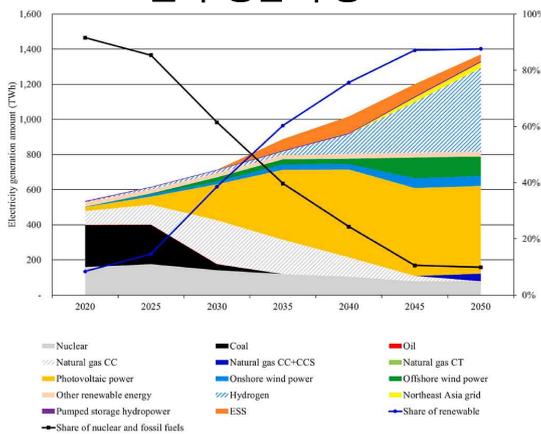
연도	주요 내용
2025년	- 연간 재생에너지 기반 수소 생산량 약 10-20만 톤 달성 - 수소연료 자동차 보유량 약 5만 대 달성 - 이산화탄소 배출량 연간 약 100-200만 톤 감축 - 다수의 수소충전소 인프라 건설 - 수소에너지 산업 발전을 위한 완전한 제도 및 정책 환경 형성 - 핵심 기술 및 제조 공정 개발
2030년	- 완성도 높은 수소에너지 산업 혁신, 청정 에너지 수소 생산 및 공급 시스템 구축 - 탄소 피크 목표 달성 보조
2035년	- 에너지 소비에서 수소에너지 비중을 크게 높여 녹색 전환에 중요 역할 수행 - 수송, 저장, 공업 등 다분야의 수소에너지 산업 시스템 구축

자료: 《氢能产业发展中长期规划(2021-2035年)》.

< 참고 2 > 최적 발전원 포트폴리오 구성 선행연구

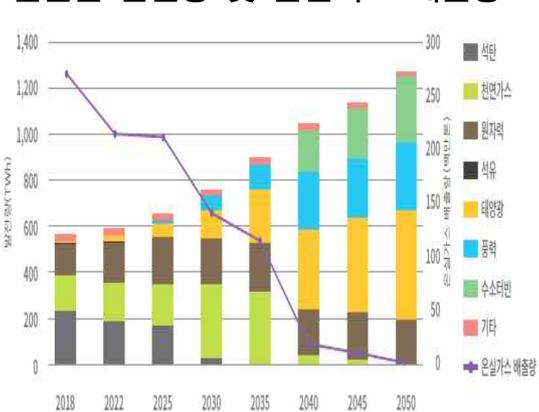
- 탄소중립을 위한 적정 발전 포트폴리오 구성에 관한 타 연구 결과를 살펴보면 수소발전의 적정 비중을 20~30%로 전망
  - 한국에너지기술연구원<sup>37)</sup>은 에너지시스템 모형을 활용하여 2050 탄소중립 달성을 위한 수소에너지의 역할을 정량적으로 분석하고 최적 전원 포트폴리오를 도출
    - 2050년 국가 탄소중립 달성을 위한 수소에너지 최적 비중은 전체 에너지 공급의 27%, 최종 에너지 소비의 25%, 총 전력 발전량의 36%
  - 사단법인 넥스트<sup>38)</sup>는 비용 효과적인 탄소중립 도달을 위한 부문별 시나리오 분석 연구에서 재생에너지 및 유연성 자원의 역할을 강조
    - 2050년 발전원 구성 전망에서 수소에너지의 비중을 22.5%(발전량 286TWh)로 전망
  - 서울대 원자력정책센터<sup>39)</sup>는 설비 투자비 및 발전비용이 최소화되는 전원구성의 수소 가스터빈 비중을 20%(발전량 251.5TWh)로 설정

< 2050년 탄소중립 달성을 위한 전력 생산 구성 >



자료: Lee, et al. (2024).

< K-Map 2.0 시나리오 연도별 전원별 발전량 및 온실가스 배출량 >



자료: 사단법인 넥스트(2024).

37) Lee, et al. (2024), 『Analysis of the role of hydrogen energy in achieving carbon neutrality by 2050: A case study of the Republic of Korea』 .

38) 사단법인 넥스트(2024), 『대한민국 2050 탄소중립 시나리오 K-Map 2.0』 .

39) 이종호(2024), 『2050 탄소중립 실현을 위한 원전/재생에너지 시나리오 분석 및 시사점』 .

< 참고 문헌 >

- BloombergNEF(2025), 『2025 Energy Storage Market Outlook』 .
- Göke et al.(2025), 『Flexible nuclear power and fluctuating renewables? – An analysis for decarbonized multi-vector energy systems. Energy Strategy Reviews, 60, 101782』 .
- IEA(2021), 『An energy sector roadmap to carbon neutrality in China』 .
- IEA(2021), 『Net Zero by 2050』 .
- IRENA(2024), 『World Energy Transitions Outlook 2024: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi』 .
- IRENA(2025), 『Analysis of The Potential for Green Hydrogen and Related Commodities Trade』 .
- Lee, et al. (2024), 『Analysis of the role of hydrogen energy in achieving carbon neutrality by 2050: A case study of the Republic of Korea』 .
- 관계부처 합동(2021), 『제1차 수소경제 이행 기본계획』 .
- 김동윤, 황민섭(2017), 『저탄소 에너지 전환을 위한 2030년 최적 전력 구성 비 : 노후 원전 단계적 폐쇄와 INDC를 고려한 시나리오』 .
- 대한상공회의소(2024), 『분산에너지를 활용한 전력수급 개선과 지역경제 활성화 방안』 .
- 법률사무소 솔라리스(2025), 『2025년 ESS 중앙계약시장 분석: 사업자가 알아야 할 법률 리스크와 전망』 .
- 사단법인 넥스트(2024), 『대한민국 2050 탄소중립 시나리오 K-Map 2.0』 .
- 산업통상자원부(2023), 『에너지스토리지(ESS) 산업 발전전략』 .

- 산업통상자원부(2025), 『제11차 전력수급기본계획』 .
- 에너지경제연구원(2019), 『저탄소 전력시스템으로의 전환을 위한 전력시장 제도개선 방안 연구』 .
- 에너지경제연구원(2020), 『P2G 경제성 분석과 제주도 잉여전기 해소방안』 .
- 에너지경제연구원(2021), 『재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G 활용 방안 연구』 .
- 에너지경제연구원(2022), 『에너지포커스: 수소·암모니아 가스터빈 발전의 기술 동향 및 전망』 .
- 이종호(2024), 『2050 탄소중립 실현을 위한 원전/재생에너지 시나리오 분석 및 시사점』 .
- 이철용(2021), 『수소 가스터빈 발전 사업의 경제적 타당성 분석』 .
- 한국가스공사(2025), 『핑크수소의 국내생산 가능성: 그린수소의 대안』 .
- 한국에너지공단(2020), 『2020 신재생에너지 백서』 .
- 한국에너지기술연구원(2023), 『넘쳐나는 재생에너지, 그린수소 만든다』 .
- 한전경영연구원(2024), 『2030 글로벌 청정수소 공급 전망』 .