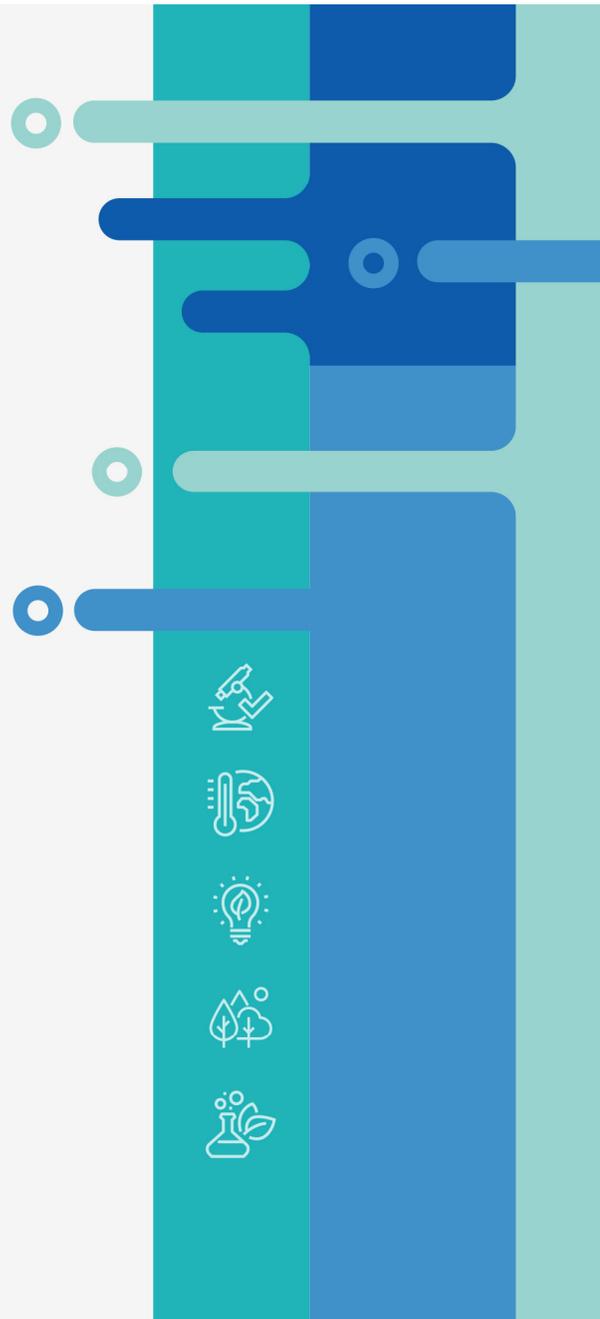


NIGT BRIEF

미국 청정수소 전략 및 로드맵 주요 내용

송인옥 / 정혜령 / 손지희





송인옥 / 제도혁신센터
손지희 / 제도혁신센터

정해령 / 제도혁신센터

하이라이트

- 미국은 청정 수소의 전 단계 가치사슬인 생산, 처리, 수송, 저장 및 사용 촉진을 위해 '23년 6월 청정 수소 전략 및 로드맵(U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap)을 발표함
- 청정 수소를 효과적인 탈탄소 도구로 개발 및 채택하기 위한 핵심 전략으로 ① 청정 수소의 전략적이고 영향력 있는 사용, ② 청정 수소의 비용 절감, ③ 지역 네트워크 구축을 제시함
- 청정 수소 전 단계 가치사슬의 구축을 촉진하기 위해 ① 단기적으로 R&D 촉진 및 안전 기준 마련, ② 중기적으로 국내 공급망 개발 및 인프라 시설 실증, ③ 장기적으로 국내 수소 규모 확대 및 수출 증진 등을 목표로 함
- 청정 수소 경제 실현을 위해 수소 생산 및 수입이 필수적인 한국은 미국의 전략에 맞추어 국제적 흐름에 맞는 정책을 추진함과 동시에 국제협력을 통한 공급망 안정화가 함께 요구됨

키워드

- 미국 청정 수소 전략 및 로드맵, 지역 클러스터, 국내 제조업 부흥 지원, 시기별 이행 조치, 포용적 혜택

미국 청정 수소 전략 및 로드맵 수립 배경 및 개요

청정 수소 전략 및 로드맵은 청정 수소의 전 단계 가치사슬(생산, 처리, 운송, 저장 및 사용)을 촉진하기 위한 포괄적 프레임워크로서, 구체적인 부문별 국가 탈탄소 목표 기여 방안을 제시함

- 경제적이고 안전한 청정 수소 사용의 가속화는 바이든 정부의 핵심정책임*

* 청정 수소는 미국의 기후위기 대응과 에너지 안보 강화, 경제적 가치 창출 등 경제적·사회적 이익을 제공하는 수단으로 제시¹⁾

- 미국은 '21년 제정된 인프라법(Infrastructure Investment and Job Act, IJJA)²⁾을 바탕으로 청정 수소 산업을 전폭적으로 지원할 예정임³⁾

1) 청정 수소 전략 및 로드맵은 청정 수소를 통해 2030년까지 10만 개의 직·간접적인 일자리 창출, 에너지 독립성 강화, 제조업 호황 가속화가 가능할 것으로 추정하고 있음

2) Infrastructure Investment and Job Act(IJJA)은 2021년 11월 제정된 초당적 기반 시설법(Bipartisan Infrastructure Law, BIL)의 정식 명칭이나, 청정 수소 전략 및 로드맵 본문에서는 'BIL'이라 명시하고 있음

3) 미국은 청정 수소 생산 수요가 2030년까지 연간 1,000만 MMT, 2040년까지 연간 2,000만 MMT, 2050년까지 연간 5,000만 MMT에 이를 것으로 보고 있음

- 인프라법은 미 에너지부(DOE)에 청정 수소 전기분해, 청정 수소 제조 및 재활용, 지역 청정 수소 허브 등 청정 수소의 촉진을 위해 95억 달러의 예산을 배정하고, 2005 에너지 정책법(Energy Policy Act)에 청정 수소 전략 및 로드맵을 포함하도록 규정
- 이에 '22년 9월 인프라법을 근거로 청정 수소 전략 및 로드맵 초안이 작성되었고, 대중의 의견과 '23년 3월에 발표된 DOE의 보고서(Pathways to Commercial Liftoff: Clean Hydrogen)⁴⁾등을 반영하여 '23년 6월 발표
- 국가 탈탄소 목표를 달성하기 위한 정부, 산·학·연, 지역사회, 기타 이해관계자 등 모두가 참여하는 장기적인 청정 수소의 개발 및 보급 전략을 제시함
 - ▲'50년까지 NET-ZERO 달성, ▲'35년까지 탄소 무공해 전력 100% 공급, ▲'30년까지 온실가스 배출량을 2005년 대비 50~52% 감축, ▲연방 기후 투자 이익의 40%를 소외된 지역사회에 전달하기 위한 접근방식 제시

청정 수소 추진 핵심 전략

청정 수소를 효과적인 탈탄소 도구로 개발 및 채택하기 위한 핵심 전략으로 ① 청정 수소의 전략적이고 영향력 있는 사용과 ② 청정 수소의 비용 절감, ③ 지역 네트워크 구축을 제시하고, '30년까지 연간 5MMT의 청정 수소 생산을 목표로 제시함

- (전략 1: 전략적 타겟팅을 통한 효과 극대화) 탈탄소 대안이 제한적인 부문에 중점을 두어 탄소저감 효과 극대화를 추구함
- (① 산업/운송/전력부문 수소 사용 극대화) 미국은 청정 수소의 사용을 산업응용부문(화학, 철강, 정유 등), 중·대형 운송부문(트럭 및 버스, 해양 및 항공, 항공, 철도 등), 전력응용부문(에너지 저장 및 전기 발전 등) 등에 중점을 두어 그 효과를 극대화할 계획임
 - (산업응용부문) 화석연료를 직접 연소하여 산업 공정을 위한 열과 전력을 생산하는 과정에서 산업에서 배출되는 탄소 배출량의 절반 이상이 배출되므로 산업부문의 탈탄소를 위해 청정 수소의 사용이 핵심*
 - * 예컨대 암모니아와 메탄올 등의 공정에 청정 수소를 사용하는 경우 온실가스 배출량을 90% 이상, 철광석 정제 시 청정 수소를 환원제로 사용하는 경우 1차 철광석 제조과정에서의 온실가스 배출량을 40~70%까지 감축 가능
 - (운송부문) 미국은 간간 경량 차량(light-duty vehicles)의 전기화에 집중하였으나, 수소 및 연료전지는 장거리 주행과 빠른 연료 공급, 크고 무거운 적재량을 필요로 하는 중·대형 운송부문의 탈탄소에 상당한 기회를 제공
 - (전력응용부문) 수소는 장기 에너지 저장, 전력 발전 및 그리드 서비스를 위한 매체로서 다양한 용도로 사용될 수 있고, 다른 부문의 원료 또는 연료로 제공되어 추가적인 수익원을 제공
 - (기타) 정부 기관은 수소를 비상시 연방 시설의 에너지 및 수자원 복구에 활용하고, 군사 기지에서서의 실증과 백업 전력 및 마이크로 그리드를 위한 기타 주요 부하에서 수소 수요를 창출하여 민간 부문의 수소 활용을 촉진
- (② 청정 수소 생산 탄소집약도 표준) 인프라법에 근거하여 DOE는 환경보호청과 협의하여 프로그램 운영에 참고하기 위한 청정 수소의 탄소집약도(Carbon Intensity)에 대한 초기 표준⁵⁾을 개발함⁵⁾
 - * 초기 표준은 수소 1kg(kg CO₂e/kg H₂)당 이산화탄소 환산량 4kg으로 정하고, 수소 생산 표준은 최초 기준 설정 후 5년 이내에 갱신될 예정

4) Pathways to Commercial Liftoff는 첨단 원자력, 탄소 관리, 청정 수소, 장기 에너지 총 4개 부문으로 구성된 보고서로, 각 기술의 현황과 기술의 신속한 상용화를 위한 과제 및 솔루션 등을 제시함

5) U.S. Department of Energy Clean Hydrogen Production Standard(CHPS) Guidance('23년 6월)

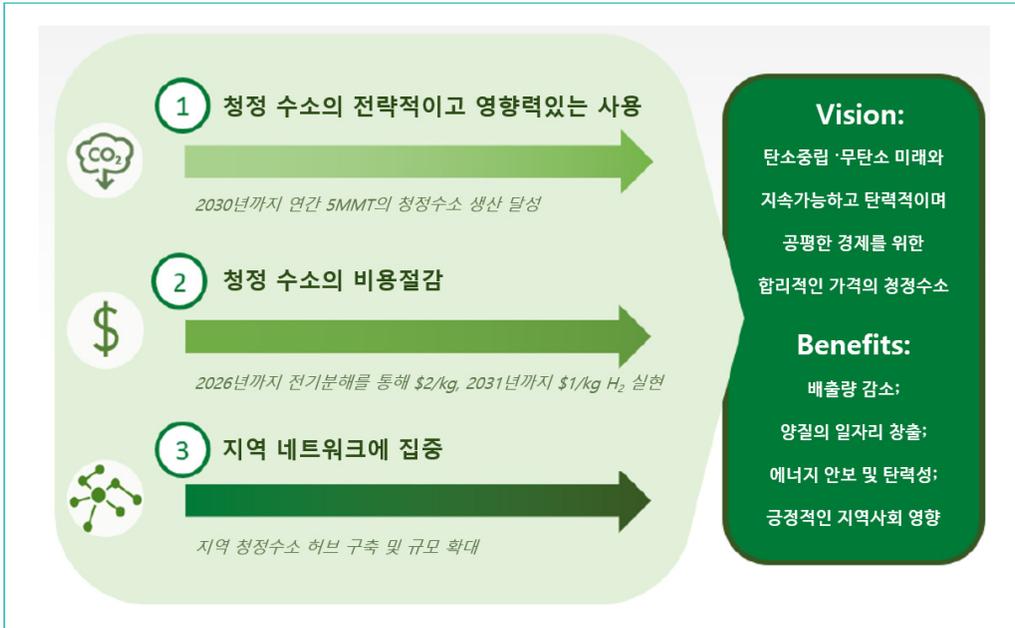
- 표준은 특정한 저탄소 에너지원(CCS, 재생 가능한 에너지 자원 등)으로부터의 청정 수소 생산 지원, 청정 수소 정의⁶⁾, 기술적 및 경제적 실현 가능성을 고려하여 마련
- **(전략 2: 청정 수소 비용 절감)** Hydrogen Shot⁷⁾을 통해 기술의 개발 및 규모의 확대, 민간 부문의 투자 촉진, 청정 수소 공급망을 개발하여 '31년까지 청정 수소 가격 1kg당 1달러 실현을 목표로 함
- **(① 수전해)** 수전해 수소 생산 비용의 절반 이상을 차지하는 청정 전기 비용의 감축이 필요함
 - RDD&D를 지원하여 청정 전기 비용의 감축과 수전해 효율 향상을 촉진하고, 청정 전기 기술을 위한 생산 및 투자 세액 공제 등을 장기 연장
 - 비용 절감을 위해서는 청정 수소의 대량 생산, 전해조 스택 및 BOP 구성 요소의 혁신, 차세대 전기 및 에너지 시스템의 전해조 기술 통합을 위한 RDD&D 지원이 핵심
- **(② CCS를 통한 화석연료 개질)** 이산화탄소를 포집 및 저장하고, 재활용함으로써 수소 생산과정에서의 이산화탄소 배출량의 감축이 가능함
 - CCS를 통한 화석연료 개질(SMR, ATR, 메탄 열분해와 CCS의 결합) 등 다양한 에너지로부터의 수소 생산 기회를 지원*
 - * 예컨대 CCS가 장착된 SMR을 통해 이산화탄소가 대기로 방출되기 전 포집 및 저장하면 수소 생산 수명 주기(life cycle)에서 탄소집약도를 50% 이상 감축할 수 있으나, 이러한 방식은 SMR 단독으로 수소를 생산하는 경우보다 비용이 약 55%가량 높음
- **(③ 바이오매스 및 폐기물 공급 원료)** CCS를 통한 바이오매스 가스화, 유기 매립지와 하수 또는 농업 폐기물의 바이오가스 등을 공급 원료로 사용한 저탄소 또는 탄소 네거티브 수소 생산이 가능함
- **(④ 기타 시스템 비용)** 청정 수소의 비용 절감은 생산에만 국한되지 않고 수소의 공급, 저장 및 공급 시스템 전반에 걸친 기술 및 구성 요소별 비용 절감을 위한 노력이 필요함
- **(전략 3: 지역 네트워크 구축)** 대규모 청정 수소 생산 및 최종 사용 지역과 인접한 지역 네트워크에 집중하여 대규모 청정 수소 허브를 구축하여 인프라 투자 이점을 극대화함
 - 청정 수소 생산자, 지역 자원, 인프라 그리고 청정 수소 소비자로 구성된 지역 청정 수소 허브를 구축하여 경제적 이점(청정 수소의 대규모 생산과 사용을 통한 시장 개발 등), 환경적 이점(배출량의 감소 등), 사회적 이점(지속적인 경제 성장 및 청정 수소 사용 규모의 확대 등) 도출
- **(① 지역 생산 잠재력)** DOE는 물 및 기타 자원의 가용성을 포함하여 수소 전 단계 가치사슬에 걸쳐 지역 분석을 계속해서 업데이트하고, 국립연구소의 데이터와 산업 분석을 통해 국내 자원 중 수소를 생산할 수 있는 기술적 잠재력을 추정함
- **(② 지역 저장 잠재력)** 대규모 수소 저장을 위한 최적의 접근방식과 입지 선정을 위한 기회 평가를 지속적으로 수행하고, 비용과 잠재적 배출량을 줄이면서 효율성과 저장 용량을 높이기 위한 DOE와 업계의 프로젝트 및 분석이 진행 중임

⁶⁾ 청정 수소란 생산된 수소 1kg당 2kg CO₂e 이하의 탄소집약도로 생산된 수소를 의미함.

⁷⁾ DOE의 Energy Earthshots 이니셔티브는 더 저렴하며 신뢰성 있는 청정 에너지 개발을 통해, 2050년 탄소 중립을 달성하는 동시에 고품질의 직업과 경제 성장 창출을 도모하기 위해 설립됨. 이 중, 2021년 6월 7일에 시작된 첫 번째 Earthshot인 Hydrogen shot은 청정 수소의 생산비용을 1kg당 1달러로, 약 10년 동안 80% 절감할 것을 목표로 함. 현재 재생 에너지로부터 얻은 수소는 1kg당 약 5달러의 비용이 발생함. 따라서 Hydrogen shot의 80% 비용 절감 목표를 달성한다면, 철강 제조, 청정 암모니아, 에너지 저장 및 대형 트럭 등을 포함한 새로운 수소 시장을 개척할 수 있음. 이는 청정 에너지 산업의 일자리 창출을 촉진하고, 온실가스 배출량을 줄이며 글로벌 청정 에너지 시장에서 미국의 경쟁력을 높이는 데 기여할 것임.

- (③ 지역 최종 사용 잠재력) 수소를 공급 원료 또는 에너지원으로 채택할 잠재적인 산업 클러스터를 중심으로 규모, 비용, 기간 등이 일치하도록 조정하는 등 지역 청정 수소 허브의 전략적인 배치를 위한 프로젝트를 수립함
- (각 전략에 대한 지원) RDD&D 지원을 통해 다양성, 형평성, 포용성 및 접근성을 촉진하기 위한 지원과 이해관계자 참여(환경 정의, 지역, 노동조합)를 통한 인력 개발, 사전 정책, 기술 및 에너지 전환, 대규모 시장 채택을 지원함

그림1 미국 청정 수소 국가전략 및 이행 프로그램



출처: U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap, 2023, p.27

청정 수소 전략 및 로드맵 달성을 위한 국가적 조치

환경 및 에너지 정의 실현에 중점을 둔 주·지방정부, 산·학·연, 기타 이해관계자 등의 협력 촉진 및 청정 수소 전 단계 가치사슬의 혁신을 추구함

- (기본 원칙) 연방 정부는 8가지 기본 원칙*을 준수하며 지속가능하고, 탄력적이며, 공정한 청정 수소 경제를 보장하여야 함
 - * ▲전략적이고 영향력 있는 사용을 통한 심층적인 탄소 저감, ▲혁신과 투자의 촉진, ▲국내 제조업 증진 및 견고한 공급망 구축, ▲총체적인 접근방식 추진, ▲양질의 일자리 증대, ▲다양성·공정성·포용성·접근성 제고, ▲에너지 및 환경 정의의 진전, ▲경제성 및 다양성 지원
- (정부 기관, 산업, 학계, 지역사회 협력) 수소 및 기타 첨단 기술 개발 사례를 바탕으로 지역적 요소와 환경 및 에너지 정의에 중점을 두고, 정부와 산업, 투자자, 학계 및 연구기관 전반에 걸친 파트너십 구축을 통해 청정 수소 기술의 개발 및 배치를 가속화함
 - 협력을 통해 규제 공백의 식별 및 해결 전략 개발과 더불어 잠재적인 환경 문제를 해결하고, 개인과 지역사회에 대한 형평성 및 정의 보장을 위해 주기적으로 상황을 평가하고, 개선이 필요한 조치를 식별하여 우선순위 지정

- **(RDD&D 파이프라인 구축)** 청정 수소 전 단계 가치사슬의 혁신 및 구축을 위하여 총체적 관점에서 국가적 차원의 노력을 강화함
 - DOE는 지속적인 수소 전략의 성과와 진행 상황을 측정 및 평가하기 위하여 관련 정보 및 데이터를 분석
 - 과거 온실가스 배출에 초점을 맞춘 수소 전략을 넘어 기존 오염 요소의 완화와 일자리 창출, 국내 혁신 리더십 등의 다양한 이점을 정량화하여 수소 전략에 반영할 계획
- **(시기 단계별 주요 조치 및 이정표)** 청정 수소 전 단계 가치사슬 구축 촉진을 위한 단기, 중기, 장기 목표를 설정함
- (단기: 2022-2025) 청정 수소 생산을 위한 RD&D 촉진, 청정 수소 저장 및 운송 관련 인프라 확산 장애 요인 규명, 수소 사용을 위한 안전 규정 및 기준을 마련함
 - 수소의 수명 주기 및 지속가능성 관점에서 전략 우선순위를 선정하고, 중간 목표를 결정하며, 수소 생산, 가공, 공급, 저장 및 최종 사용 분야에서 대규모 청정 수소 사업을 위한 규제 기반 마련
- (중기: 2026-2029) 기가 와트 규모의 전해질 증기화 장치 배치, 국내 공급망 개발, 선진적이고 효율적인 인프라 시설 실증, 지역 청정 수소 허브 배치, 소외 가구에 청정 수소를 통한 혜택을 보장함
 - 다양한 공급 및 저장 경로의 우선순위를 정하기 위해 분석하고, 모델 및 도구를 검증·개발하며, 수소 기술과 관련된 규정 및 표준을 국제화
- (장기: 2030-2035) \$1/kg 비용으로 10 MMT 수소 생산, 수소 허브 및 수출 규모 확대, 질 좋은 일자리 창출 및 공공의 건강과 안전을 증진함
 - 지역적 공급 및 수요에 최적화된 수소 인프라 네트워크를 설계하고, 지역사회 및 이해관계자 협력 기반 혜택 극대화
 - 청정 수소 수출을 가능케 하는 시장 구조와 규제 지침개발 및 소외된 공동체의 혜택 보장을 위한 청정 수소 이점 정량화, 추가적으로 필요한 정책 및 프로그램 파악

표1 미국 청정 수소 액션플랜

	2022-2025	2026-2029	2030-2035
청정 수소 생산	전기분해, 열 변환 및 수소 샷을 충족하는 새로운 경로에 대한 RD&D 촉진	CCS를 활용한 신재생에너지, 원자력, 화석연료 및 폐기물의 반복, 측정 가능한 생산의 입증	기가와트 규모의 전해조 배치 및 국내 공급망의 개발
수송 및 저장 인프라	인프라 장벽 식별 및 우선순위 지정	지역 허브를 위한 지원 인프라 구축	선진적이고 효율적인 인프라 구성요소의 실증
최종 사용 및 시장 채택	규제기관과 협력하여 여러 부문에 걸쳐 전략적 채택을 이루기 위한 초석 마련	산업 프로젝트 개시 및 장기구매 계약 개발	지역 청정 수소 허브 구축
활성화 요소	이해관계자 참여; 안전 규정 및 표준 준수; 중요 공급망 개발	인력, 인재 풀, 견습 프로그램 개발 및 확대	DOE가 지원하는 청정 수소프로젝트로 인해 영향을 받는 소외된 지역사회에 혜택의 40%가 분배되도록 보장
			전해조 제조 및 재활용/재사용 능력의 확대
			지속가능한 지역 청정 수소 네트워크의 개발
			오염을 줄이고 복원력을 제공하는 기술의 도입
			비즈니스 사례 입증 및 민간 자본의 활성화
			10 MMT 생산 능력 및 \$1/kg 목표 달성
			대규모 청정 수소 수송
			수소 허브 확장 및 수출 기회 마련
			Justice 40* 달성, 양질의 일자리 창출, 공중 보건 및 안전 보장

* Justice 40 Initiative(정의로운 전환을 위한 사회 환원): 미국의 친환경 투자이익 일부를 소외된 지역사회에 제공하기 위한 프로그램
출처: U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap, 2023, p.68

한국은 미국의 청정 수소 전략 및 로드맵의 전략 중 ‘운송·산업·발전부문’과 ‘경제성 확보’에 관한 정책을 바탕으로 수소 산업의 글로벌화를 위한 생태계 조성방안 설계 필요

- 미국의 전략적 타겟인 운송·산업·발전부문은 한국에서도 효과적인 탄소감축을 위하여 청정 수소의 활용이 추진되는 부문으로, 미국의 전략 및 정책에 대한 적극적인 모니터링을 통해 선제적인 규제정비, 인프라 구축, 인력양성 등 기술개발 및 사업화의 기반을 마련*

* 다만, 자국 내 소비를 목적으로 기술개발 및 인프라에 투자하는 미국의 전략과 다르게 한국의 기술개발 및 인프라 투자는 해외 수소 수입을 목적으로 한 수소 운송·저장기술 및 실증이 필요

- 한국 역시 청정 수소의 경제성 확보 문제가 제기되는바, 수소사회·수소경제를 도모하기 위하여 수소 허브의 성장을 지원할 기술, 산업, 복지, 민·관 협력 등 사회 전반에 걸친 정책 등이 필요할 것으로 사료

한국은 그린수소 확대를 위한 해외의 수소 도입 필요성이 높으므로 국제협력을 통한 글로벌 수소 공급망 확보가 필요

- 풍부한 자원에 기반하여 자국 내 수소 생산에 초점을 두는 미국과 다르게 한국은 신재생에너지 부족으로 2030년까지 해외 수입을 통한 그린수소 공급 확대를 전망

- 해외수소 수입 도입을 위해 대규모 수소 저장·수송기술 확보가 전제되는바, 이를 위해 선진 기술 보유 국가와의 협력이 불가피한 상황이므로 국제협력을 통한 기술협력과 그린수소 공급망 확보가 필요

- 최근 미국을 포함한 주요국의 수소 부문 전략 강화*가 이루어지는 가운데, 한국의 안정적인 수소 공급을 위한 글로벌 협력의 필요성이 대두됨에 따라 전략적인 국제협력 정책 마련의 중요성을 시사

* 미국에 이어 일본, 독일 등의 선도국은 경제적이고 안정적인 수소 공급을 위한 새로운 전략을 발표 및 추진하는 등 전략을 강화⁸⁾

- 한국의 수소 부문 전략(청정 수소 생태계 조성방안, 수소 경제 이행 기본계획 등)에 국제협력에 관한 사항이 일부 포함되어 있으나, 특정 기술 또는 제도에 초점이 맞추어져 있어 에너지 안보 관점에서의 수소 부문 전반에 대한 전략 검토가 필요

⁸⁾ 일본은 2023년 6월 수소기본전략(水素基本戦略)을, 독일은 2023년 7월 국가수소전략(Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie)을 업데이트하였음.

약어 정리

- * ATR(Autothermal Reforming): 자열개질
- * BOP(Balance of Plant): 주변 보조기기
- * CCS(Carbon Capture and Storage): 이산화탄소 포집 및 저장
- * DOE(U.S. Department of Energy): 미 에너지부
- * MMT(Million Metric Tonnes): 백만 미터 톤
- * RD&D : Research, Deveopment, and Demonstration
- * RDD&D : Research, Development, Demonsration and Deployment
- * SMR(Steam Methane Reforming): 증기메탄개질

NIGT BRIEF

본 NIGT BRIEF의 내용은 필자의 개인적 견해이며,
연구소의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.



07328 서울특별시 영등포구 여의나루로 60 여의도포스트타워 14층
TEL 02)3393-3900 FAX 02)3393-3919~20 www.nigt.re.kr