



저탄소 수소경제 진입 및 주도권 확보 방안

- 수소 밸류체인 별 최신 기술 및 트렌드 점검

리더 메시지



한동현 파트너

에너지, 자원 및 산업재 부문 리더 |
경영자문

전 세계적으로 수소 산업 생태계가 가시화 되면서, 수소를 주요 에너지원으로 하는 경제산업 구조인 '수소경제'에 대한 관심이 높아지고 있습니다.

전 지구적 이슈인 탄소중립 기조에 부응하고, 새롭게 태동하는 산업과 비즈니스 기회를 선점하기 위해 우리나라를 포함한 미국, 유럽, 일본 등 많은 국가들이 수소 경제 로드맵과 전략을 수립하고 있으며, 자국 산업의 수소경제로의 전환에 총력을 기울이고 있습니다.

수소가 미래 사회의 주 에너지원이 될 것이라는 것을 감안할 때, 전 세계 모든 국가는 수소 에너지 생산부터 유통, 저장, 활용 까지 유기적으로 연결되는 에너지 공동체가 될 것입니다. 이때 어떤 국가나 기업이 수소 밸류체인 상에서 주도권을 확보 한다면 전 세계 경제를 주도할 가능성이 높아질 것입니다.

딜로이트는 수소경제로의 전환이 우리 산업에 새로운 기회가 될 것임을 확신하고 있으며, 수소 생산, 운송 및 활용 등 수소 밸류체인별 최신 기술과 트렌드를 점검하고, 글로벌 수소경제에 안정적으로 진입하고 주도권을 확보하는 방안을 제시하고자 합니다.

딜로이트는 고객사들이 수소경제 시대에 떠오르는 기술과 비즈니스 기회를 선점하고, 지속성장을 이어 나가는 데 지원을 아끼지 않겠습니다.

Table of Contents

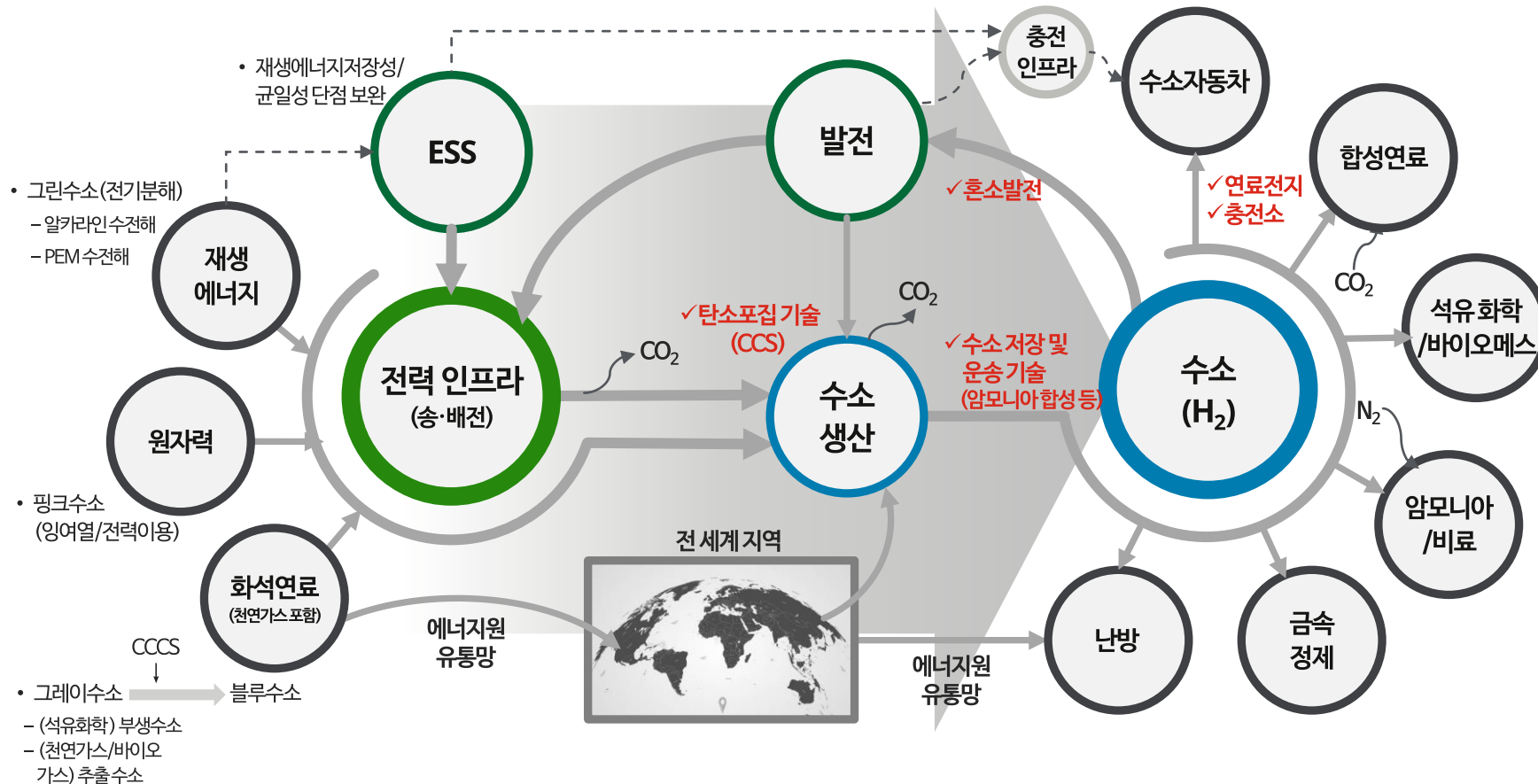
- ✓ 수소경제구조와 진화방향
- ✓ 수소경제의 필요성
- ✓ 수소경제 밸류체인
- ✓ 수소경제 밸류체인 별 핵심 기술 및 Startups
 - 수소 생산 부문
 - 수소 저장·운송
 - 수소 충전
 - 수소 활용
- ✓ 수소경제 진입 및 주도권 확보 전략



수소경제구조와 진화방향

화석 연료 중심의 에너지 구조에서 벗어나 수소를 주요 에너지원으로 사용하는 경제 산업 구조로 전환되고 있으며, 이 과정에서 수소의 물성 취약점을 해소하기 위해 암모니아(수소+질소 합성)를 활용하는 과도기를 거쳐 완전한 수소경제에 도달할 전망

수소 경제 구조



수소경제 진화 방향

수소 시장 확대

- 산업 공정, 에너지, 모빌리티, 화학소재 등 분야에서 화석연료 대체
- ✓ (제약요인) 수소 물성의 단점 해소 필요
 - 폭발 위험성, 가법고, 밀도와 끓는점이 낮음
 - 압축/액화 어려움

✓ 수소 화합물 경제 시대

- (제약요인 해소) 암모니아(수소+질소 합성)
 - 수소의 높은 저장·운송비 단점 해소
- 산업용, 전력생산, 모빌리티 분야 활용 증가

완전 수소경제 도달

- 재생 에너지원 활용 확대
- 생산-저장-운송 등에서 경제성/안전성 확보
- 탈 탄소화 및 에너지 안보 강화

수소경제의 필요성

수소경제는 탄소중립의 실현, 산업 경쟁력 강화, 전력계통 안정화 및 자국의 에너지 안보 강화에 기여

수소경제

화석 연료 중심의 에너지 시스템에서 벗어나 수소를 주요 에너지 원으로 사용하는 경제 산업 구조

탄소 중립 실현

- 재생에너지원(태양광, 풍력 등)으로 생산된 그린 수소는 온실가스 배출 제로
- 수소를 이용한 에너지 저장 및 운반으로 간헐적인 재생 에너지의 취약점 보완

산업 경쟁력 강화

- 수소 기술 (생산, 저장, 운반, 연료전지 등)의 개발로 신규사업기회 창출
- 전통적 고탄소 배출산업(철강, 화학, 건설 등)이 공정혁신 실현 시 재도약

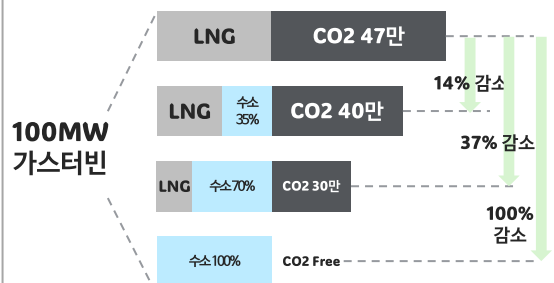
전력 계통 안정화

- 수소를 활용한 전력 저장기술로 전력 수급의 불균형 해소 (잉여전력 저장)
- 분산형 전원과 그리드 안정화에 기여
 - 수소 연료전지는 소규모 분산형 전지로 활용 가능
 - 전력망의 부하 평준화

에너지 안보 강화

- 화석연료 대체로 에너지 수입 의존도 경감 → 에너지 비용 절감 및 안정성 확보
- 불리한 재생에너지 환경, 원전 확대의 한계 → 수소에너지 활용의 효용성 증가

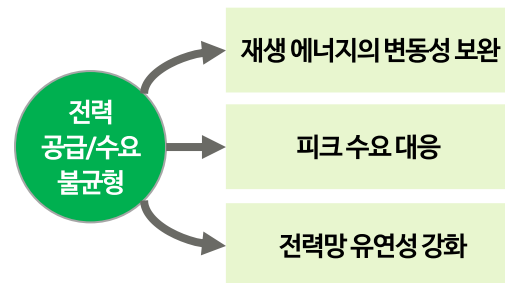
수소 에너지의 이산화탄소 절감 효과
(수소 혼소 발전, 단위: 톤)



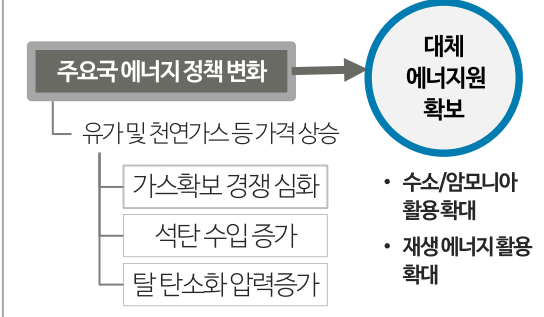
- 수소는 산업용(발전용)수송용 순으로 활용될 전망
- 탄소 감축을 위해 대체 소재 및 공정 재료로 우선 활용

주요국	2050년 총 에너지 중 수소비중 (%)	글로벌 수소 수요 전망
미국	17%	210MT (2030년) / 530MT (2050년)
EU	23%	
중국	10%	
한국	20%	

- 수소는 효과적인 잉여전력 운송과 저장 수단



- 에너지 보유국의 정책 변화에 대응

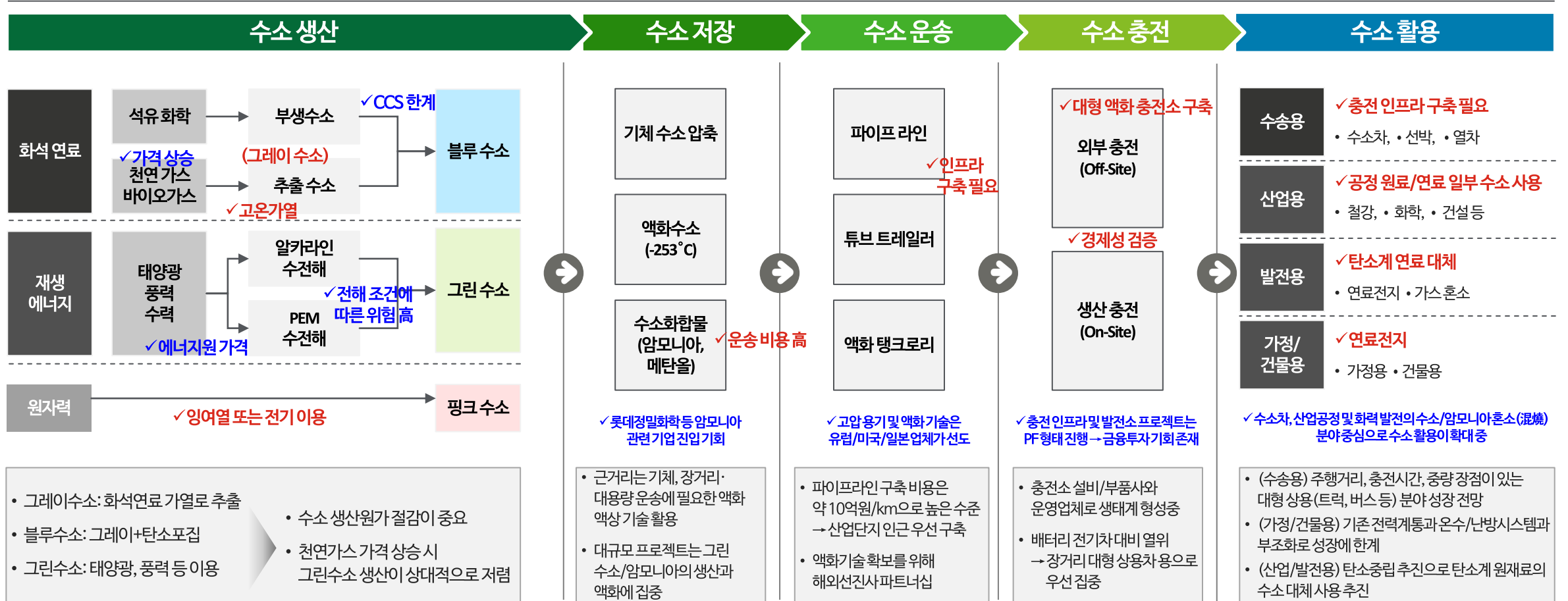


출처: Hydrogen Council, Hydrogen Insights, 2023

수소경제 밸류체인

수소경제는 현재 생산기술 개발과 저장운송 인프라 구축에 활발히 투자되고 있으며, 최종 활용 단계에서 산업, 발전, 수송 및 가정/건물 분야 순으로 시장이 형성되고 성장할 것으로 전망

수소경제의 밸류체인 상 주요 쟁점



수소경제 밸류체인 별 핵심 기술 및 Startups

수소경제의 진입과 주도권 확보를 위해서는 상용화 되기 전 핵심 수소 기술의 선점이 필요 하며, 이러한 기술이 내포하는 불확실성을 줄이고, 적기 진입시점을 결정하기 위해서는 수소의 전 밸류체인 상에 포진한 선도 스타트업 들과 이들의 기술 검토가 필요

기술 선도 스타트업



출처: Pitchbook(2023); Deloitte tech-harbor <https://techharbor.deloitte.com/>

○ 선도유망 스타트업으로 각장에 상세 프로파일 참조

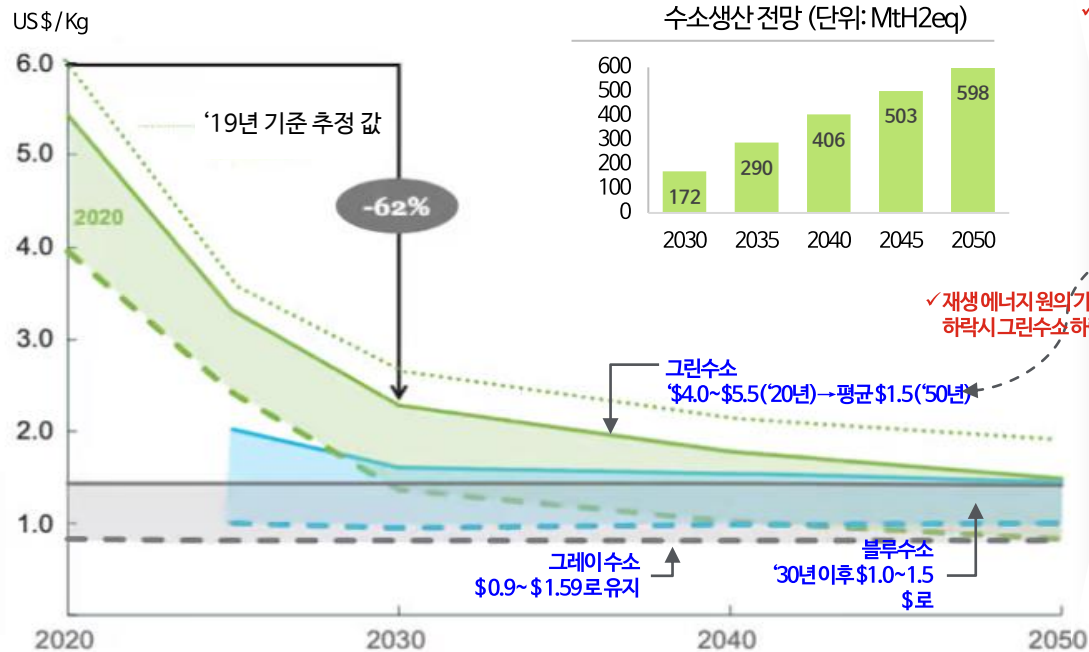
수소경제 밸류체인 - 생산

현재 수소 생산의 주요 방식으로 증기메탄 개질(SMR)은 CCS의 탄소 처리 비용을 감안할 때, 저렴한 수소 생산에 한계가 있으나 전기분해/열분해 기술의 발전이 그린수소 생산 단가를 낮추고 수소 생산량을 증가 시키며 수소경제 실현에 기여

수소 생산 비용 전망 및 유망 Startups



수소생산 비용 전망 (2020~2050)



수소 생산 부문 기술 환경 변화

SMR (증기메탄개질)

- 현재 경제적으로 실행 가능한 수소 생산 방법
- CCS의 에너지 요구사항과 메탄 배출을 고려할 때 순탄소 감소는 회의적

전기분해

- 재생에너지 (태양광, 풍력) 용량 증가/가격 하락
- 활용 조건에 맞는 전해조 셀 소재 및 설계로 폭발 위험성 제거와 성능 향상

열분해

- 메탄의 열분해 ($CH_4 \rightarrow C+2H_2$) 시 수소 생산과 고체 탄소 생성
- CCS 불필요, 고체 탄소는 섬유, 재료 개발에 활용 가능

바이오 수소 생산

- 수소생산에 생물학적 원료 (미생물, 바이오매스)를 이용
- 수명이 다한 폐유정 등 지질자산 활용 및 운송시 기존 가스 파이프라인 활용 가능

기술 선도 스타트업

I::N::MR (Inomr 사)

- 2017년 설립, 캐나다 밴쿠버 위치, 총 150명 근무
- (총 Fundings) 현재까지 약 \$45.2M, Early Stage로 Asahi('23년), Shell('22년)
- 수소 폴리머로 만든 이온 교환 멤브레인 제조 기술 보유

AMOGY (AMOGY 사)

- 2020년 설립, 미국 뉴욕 브루클린 위치, 총 101명 근무
- (총 Fundings) 현재까지 약 \$219M '23년 SK 투자, '23년 Mitsubishi 투자(\$11M)
- 암모니아 기반 수소 연료전지
- 암모니아 동력으로 대형 트럭 주행 성공(15톤(t) 대형 트럭 '카스카디아')

CEMVITA

- 2017년 설립, 미국 휴스턴 위치, 총 직원 100명 이하
- (총 Fundings) 현재까지 약 \$5.0M Early stage로 Smitomo(21년), Mitsubishi('21년) 투자
- 미생물 엔지니어링 기술 보유

* Mth2eq: 수소 1 백만톤이 제공하는 에너지량

출처: Hydrogen Council, Hydrogen Insights, 2021; Deloitte tech-harbor <https://techharbor.deloitte.com/>; 각사 언론 보도 종합

수소경제 밸류체인 - 저장·운송

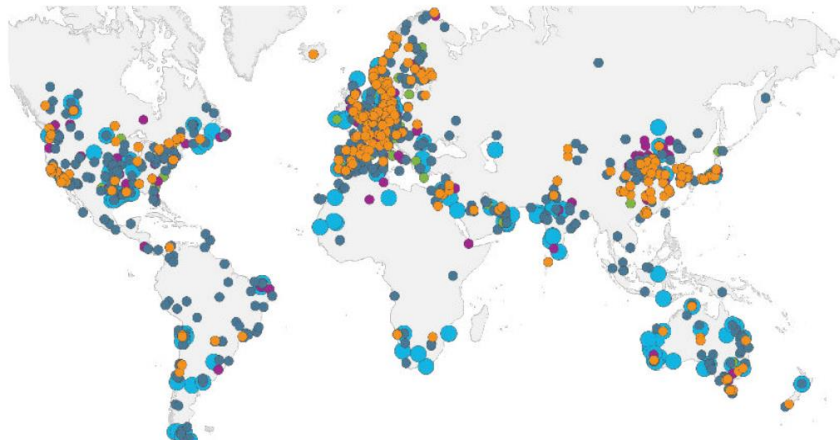
수소의 저장과 운송 방식으로 압축, 액화, 암모니아화 등의 기술이 가장 주목받고 있으나, 경제성 확보와 안전성 이슈가 지속적으로 제기되고 있어, 기술 선도 스타트업들을 중심으로 새로운 수소 운송 방식과 저장 장비 개발을 위한 연구와 투자가 진행 중

수소 저장·운송 기술 및 유망 Startups



2023년 글로벌 수소 프로젝트 1,481 건 (21년 대비 959건 ▲)

- '23년 기준 수소전 가치사슬에 5,700억 달러 투자 ('21년 4,350억달러)
- 수소 에너지의 가장 큰 난관 중의 하나는 **높은 저장·운송 비용과 안전성**
- **대규모 프로젝트는 그린 수소/암모니아의 생산과 액화에 집중**



- 166건 Giga 규모 수소 생산 프로젝트
- 719건 산업용 활용 프로젝트 (암모니아, 메탄올 등)
- 256건 운송수단 활용 주제 프로젝트 (열차, 선박, 트럭 등)
- 144건 산업 전반에 다양한 유형의 최종 사용자 활용 프로젝트
- 125건 수소 저장 운송 인프라 개발 프로젝트

수소 저장·운송 부문 기술 환경 변화

✓ 가장 주목받고 있는 방식

가압 및 액화

- 파이프라인 기체 수소 운송방식 → 고가의 수소 누출 방지 설비 확충 필요
- 튜브 트레일러(카트리지): 고압으로 압축 → 운송량과 장거리 수송에 제한적
- 암모니아화 → 크래킹 공정에서 고비용 소요
- 액화(-253로 냉각) 상태로 탱크로리 운송

압축 기술

- 고압 수소 디스펜서, 튜브 트레일러 충전시스템 개발
- 극저온 압축수소(CcH2) 저장 용기 및 트럭
- 금속 수소화물 수소 압축기(Metal Hydride Hydrogen Compressors) 개발

저장장비

- 고압 수소 저장을 위한 Type4 압력 용기를 설계, 생산 및 제조
- 모듈식 수소 연료 캡슐 (최종 사용자 맞춤형)

기술 선도 스타트업

VERNE

- 2020년 설립, 캐나다 앨버타주 위치, 총 11명 근무
- 앨버타주의 연구개발 지원기관 Alberta Innovates가 최대 200만 CA\$(약 20억 원) 지원
- 극저온 압축수소(CcH2) 기반 대형(15톤 이상급) 트럭 개발

Universal Hydrogen

- 2020년 설립, 미국 캘리포니아 호손 주 위치, 총 51명 근무
- (총 Fundings) 현재까지 약 \$82.5M, American Airlines(22년) 투자
- 항공기용 유연하고 확장 가능하며 모듈식 수소 연료 캡슐 생산

Hyfluence

- 2021년 설립, 캐나다 버나비 위치, 총 51명 근무
- 23년 캐나다 기후기술 창업 펀드인 액티브 임팩트 인베스트먼트 투자
- 수소 저장 및 운송을 위한 컨테이너화된 인프라 보유

출처: Hydrogen Council, Hydrogen Insights, 2021; Deloitte tech-harbor <https://techharbor.deloitte.com/>; 각사 언론 보도 종합

수소경제 밸류체인 - 충전

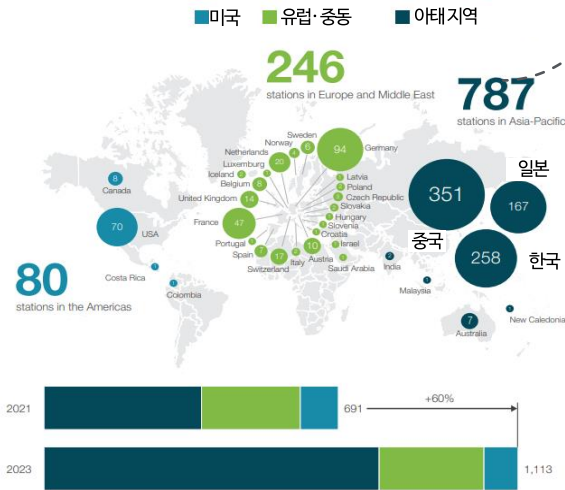
전 세계적으로 수소 전기차(주로 대형 상용차)의 장거리 이동의 경제성이 실증되면서, 수소 충전소 인프라배치가 가속화되고 있으며, 이 과정에서 연료전지와 액화 플랜트 고도화를 넘어, 스타트업들을 중심으로 충전소 설비/부품 및 설치 운영 모델이 개발 중

수소 충전 기술 및 유망 Startups



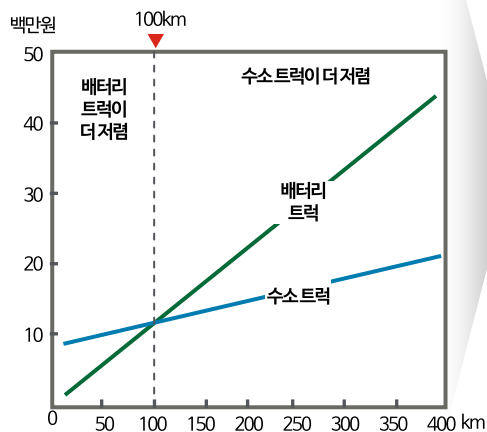
전 세계 수소 충전 인프라 현황 ('23년 총 1,113개소)

- 한국, 중국, 일본 수소 충전 인프라 배치 가속화
- **현재 연료전지 전기차(FCEV) 충전소 중심 → 상용 트럭, 철도 및 버스 등 중량 운송 수단에 요구되는 수소 충전소 용량 증설 필요**
- 장거리 트럭은 수소가 배터리 전기차 보다 유리



수소 차 (상용트럭) 경쟁력

- ✓ (중국) 내륙 운송을 수소차로 대체 계획 수립
 - 수소 연료 차량 중량 증가를 대비해 높은 충전 용량으로 충전소 확대 중
 - 산지/수입항만/대량 수요 거점 중심으로 네트워크 구축 계획 추진
- ✓ (한국) 수소 상용차 연료전지 내구성 문제로 수소 엔진 검토 중



✓ 가장 연구 및 투자 집중되고 있는 부분

수소 충전 부문 기술 환경 변화

연료 전지 고도화 및 액화 플랜트

- 연료전지 스택의 내구성 및 효율 향상, 원가 절감에 집중
 - 연료전지 소재, 개질기, BOP (Balance of plant) 분야 투자 집중
- 대형 액화 충전소 개발
 - 부생수소 공급지, LNG 플랜트 인근 지점 충전소 구축 계획 수립 중

충전소 설비 및 부품

- 압축기, 저장탱크, 고압밸브, 개질기 및 바이오 기반 시스템 개발
- 수소 연소 파워트레인 개발 (항공용, 철도용)
- 모듈식 충전소 개발 (고압 저장 탱크와 압축기를 포함한 충전소로 이동성 용이)

충전소 설치 및 운영

- 수소 연료 공급기 및 수소 분배기 제공
- 현장 수소 생산 (메탄올 개질) 및 서비스
- 다양한 수소 연료 전지 스택 생산

기술 선도 스타트업



- 2019년 설립, 미국 뉴욕주 위치, 251명 근무
- (총 Fundings) 현재까지 약 \$400M, '21년 IPO
- 수소 충전 인프라(설비/부품 등)와 연계된 차량 기술 개발



- 2020년 설립, 미국 텍사스주 톰볼 위치, 10명 근무
- (총 Fundings) 현재까지 약 \$3M
- 수소 연료 보급 시스템 및 수소 기반 EV 충전 솔루션 제조



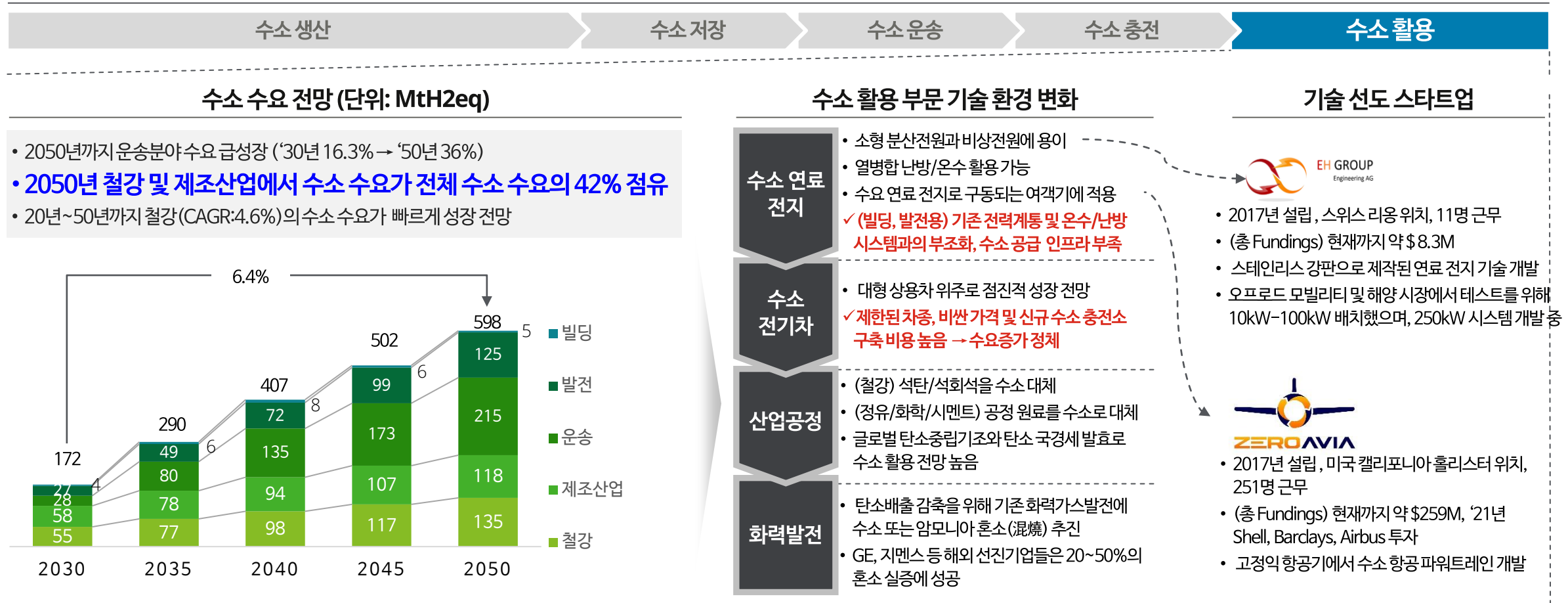
- 2021년 설립, 캐나다 밴쿠버 위치, 11명 근무
- 현장 수소 생산 및 차량 연료 공급소, 고압 저장 장치가 있는 소형 수소 연료 보급소 개발

출처: Hydrogen Council, Hydrogen Insights, 2021; Deloitte tech-harbor <https://techharbor.deloitte.com/>; 각사 언론 보도 종합

수소경제 밸류체인 - 수소 활용

수소는 철강 제조 산업에서 탄소 저감을 위한 대체 원료로 고려되고 있고, 운송 및 발전 부문은 생산비용과 인프라 구축 등의 준비가 필요하여 산업용(철강 및 제조) > 운송용 > 발전용 순으로 수요 확대가 예상되며, 스타트업들은 운송용 수소 연료전지의 개발에 집중

잠재적 수소 활용 분야 및 유망 Startups

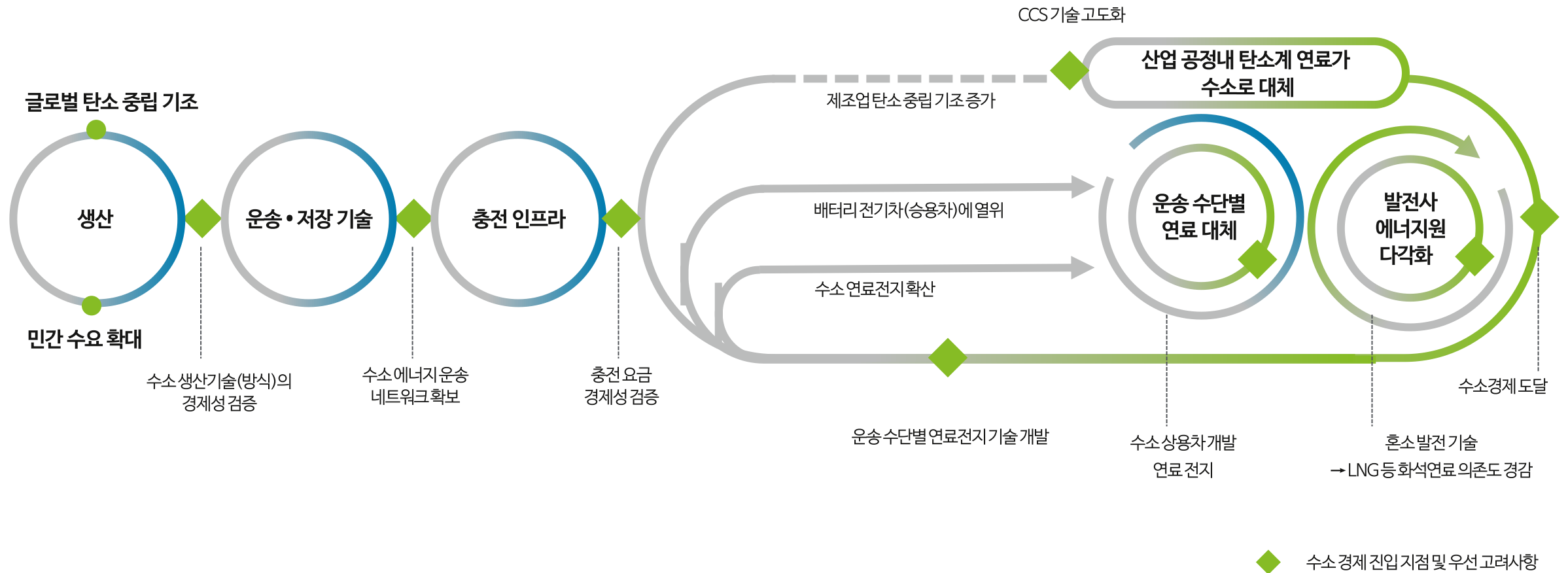


* Mth2eq: 수소 1 백만톤이 제공하는 에너지량

출처: Deloitte Insights, 그린수소(Green Hydrogen): 넷제로(Net Zero) 실현 가속화 동인, 2023

수소경제 진입 및 주도권 확보 전략 (1/2)

수소경제 진입은 수소 생산, 저장, 운반, 활용 등에서 경제적이고 효율적인 수소 기술의 확보가 선행되어야 하며, 철강, 자동차, 에너지 등 여러 산업 분야와의 협력을 통해 수소 기술의 상용화와 시장 확대 도모



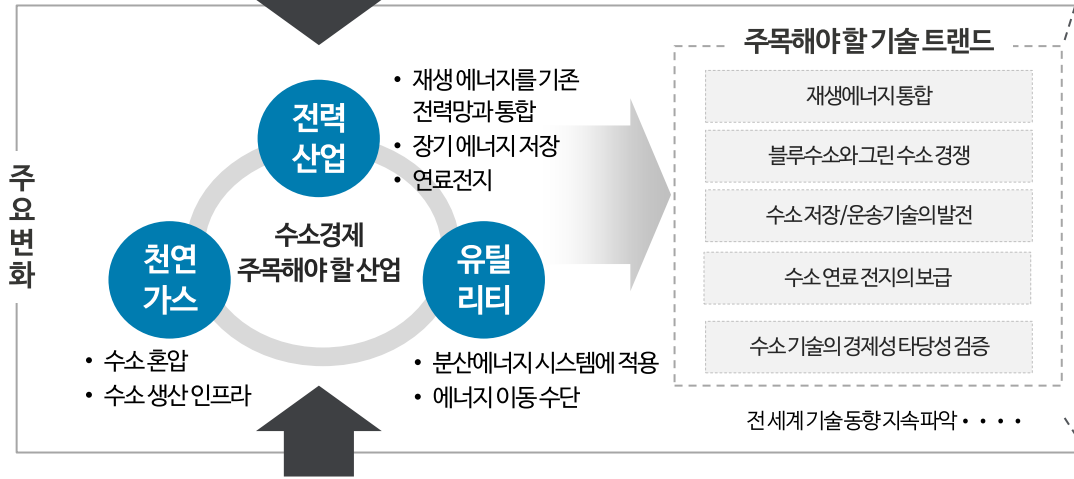
수소경제 진입 및 주도권 확보 전략 (2/2)

수소경제로의 전환을 위해서는 수소가 미치는 산업적 영향과 기술 동향을 먼저 파악해야 하며, 이를 기반으로 실효성 있는 전략과 추진 과제를 설정하는 것이 필요

주목해야 할 트렌드

주요 산업에서의 수소 파급력과 기술 트렌드에 기반한 전략 과제 설정

전 세계 각국의 탄소 중립 압력
(e.g. 탄소배출거래제, 탄소국경세 등)



수소 수요 증가
(e.g. 도로교통, 해운, 항공 등 모빌리티 부문 수요 증가)

주요 추진 과제

기술 개발 및 혁신

- 수소 전해조 효율성, 연료 전지 성능 및 수명 연장 부문에 연구개발 투자 필요
- (파일럿 프로젝트 및 시범사업 추진) 수소 기술의 취약점 파악 및 상용화 촉진

인프라 구축

- (수소 생산 인프라) 전해조 기술 개발 및 설비 확충, CCS 기술 고도화
- (수소 저장 및 운송 인프라) 수소 저장 탱크, 고압 파이프라인 및 충전소 확충 추진

수요 확대

- 기존 난방 시스템과 전력계통과 통합 방향 설계
- 탄소 고배출 (에너지, 자동차, 화학, 철강 등) 산업간 협력

경제적 타당성 확보

- (수소 생산 비용/운송 절감) 수소 생산과 수요처간 근접성 확보 및 저장/운송 기술 혁신
- (수소 비즈니스 모델 개발) 수소 에너지 서비스, 연료 충전소 운영 등

정책 지원의 당위성 확보

- 수소의 산업 파급력 파악과 경제·사회적 효용성 증명
- 국가간 협력의 필요성 제기

참고자료

1. Deloitte Insights, 기후기술과 수소경제의 미래, No.24, 2022
2. Deloitte Insights, 2050 탄소중립 로드맵, No.19, 2021
3. Deloitte Insights, 수소경제 실현을 위한 딜로이트의 솔루션 제안 ; Hydrgeon Making it happen, 2023
4. Deloitte Global, Catalyzing the clean hydrogen economy using business model innovation, 2023
5. Deloitte Insights, 그린수소(Green Hydrogen): 넷제로(Net Zero)실현 가속화 동인, 2023
6. Hydrogen Council, 2021 accessed in <https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-deployment-accelerating-with-more-than-300-billion-in-project-pipeline/>
7. Hydrogen Council, 2023 accessed in <https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-insights-2023/>
8. Deloitte Techharbor accessed in <https://techharbor.deloitte.com/>

딜로이트 산업 전문가

딜로이트의 에너지, 자원 및 산업재 부문과 수소 CoE 소속 전문가들은 에너지, 석유화학, 중공업, 산업재 기업을 대상으로 중장기 전략, 신사업 전략, M&A, 디지털 전환(DX) 등 다양한 서비스를 제공하며, 고객의 지속 가능한 혁신을 지원합니다

Professionals

Industry

산업 전문가 (에너지, 자원 및 산업재 부문)

Subject Matter of Expertise

딜로이트 수소 CoE (Hydrogen Center of Excellence)



한동현 파트너

에너지, 자원 및 산업재 부문 리더
| 경영자문 부문

Tel: 02 6676 3015 |
E-mail: Donghyunhan@deloitte.com



최지훈 파트너

산업재 부문 리더 | 회계감사 부문

Tel: 02 6676 1508
E-mail: jihchoi@deloitte.com



최용호 파트너

수소 CoE 리더 | 경영자문 부문

Tel: 02 6676 3776 |
E-mail: yonghchoi@deloitte.com



이종우 파트너

수소 CoE | 경영자문 부문

Tel: 02 6676 1399
E-mail: jongwlee@deloitte.com



하성호 파트너

전력 및 재생에너지 산업 |
경영자문 부문

Tel: 02 6676 1351
E-mail: sungha@deloitte.com



이록영 파트너

에너지 및 화학산업 |
회계감사 부문

Tel: 02 6676 1372 |
E-mail: rocee@deloitte.com



김기동 상무

수소 CoE | 경영자문 부문

Tel: 02 6676 3586 |
E-mail: kidokim@deloitte.com



서석배 파트너

수소 CoE | 경영자문 부문

Tel: 02 6676 3763
E-mail: baseo@deloitte.com



김병삼 파트너

전력 및 재생에너지 산업 | 회계감사 부문

Tel: 02 6099 4277 |
E-mail: byungsakim@deloitte.com



이재성 파트너

건설산업 | 경영자문 부문

Tel: 02 6099 4277 |
E-mail: byungsakim@deloitte.com



정기원 이사

수소 CoE | 경영자문 부문

Tel: 02 6099 4895
E-mail: kijung@deloitte.com



장문석 이사

수소 CoE | 경영자문 부문

Tel: 02 6676 3708 |
E-mail: mojang@deloitte.com



앱스토어, 구글플레이/카카오톡에서 '딜로이트 인사이트'를 검색해보세요.
더욱 다양한 소식을 만나보실 수 있습니다.

Deloitte.

Insights

<p>성장전략부문 대표 손재호 Partner jaehoson@deloitte.com</p>	<p>딜로이트 인사이트 리더 정동섭 Partner dongjeong@deloitte.com</p>	<p>연구원 배순한 Director soobae@deloitte.com</p>	<p>Contact us krinsightsend@deloitte.com</p>
--	---	---	---

Deloitte refers to one or more of Deloitte Touche Tohmatsu Limited ("DTTL"), its global network of member firms, and their related entities (collectively, the "Deloitte organization"). DTTL (also referred to as "Deloitte Global") and each of its member firms and related entities are legally separate and independent entities, which cannot obligate or bind each other in respect of third parties. DTTL and each DTTL member firm and related entity is liable only for its own acts and omissions, and not those of each other.

DTTL does not provide services to clients. Please see www.deloitte.com/about to learn more. Deloitte Asia Pacific Limited is a company limited by guarantee and a member firm of DTTL. Members of Deloitte Asia Pacific Limited and their related entities, each of which are separate and independent legal entities, provide services from more than 100 cities across the region, including Auckland, Bangkok, Beijing, Hanoi, Hong Kong, Jakarta, Kuala Lumpur, Manila, Melbourne, Osaka, Seoul, Shanghai, Singapore, Sydney, Taipei and Tokyo.

This communication contains general information only, and none of Deloitte Touche Tohmatsu Limited ("DTTL"), its global network of member firms or their related entities (collectively, the "Deloitte organization") is, by means of this communication, rendering professional advice or services. Before making any decision or taking any action that may affect your finances or your business, you should consult a qualified professional adviser.

No representations, warranties or undertakings (express or implied) are given as to the accuracy or completeness of the information in this communication, and none of DTTL, its member firms, related entities, employees or agents shall be liable or responsible for any loss or damage whatsoever arising directly or indirectly in connection with any person relying on this communication.

DTTL and each of its member firms, and their related entities, are legally separate and independent entities.

본 보고서는 저작권법에 따라 보호받는 저작물로서 저작권은 딜로이트 안진회계법인("저작권자")에 있습니다. 본 보고서의 내용은 비영리 목적으로만 이용이 가능하고, 내용의 전부 또는 일부에 대한 상업적 활용 기타 영리목적 이용시 저작권자의 사전 허락이 필요합니다. 또한 본 보고서의 이용시, 출처를 저작권자로 명시해야 하고 저작권자의 사전 허락없이 그 내용을 변경할 수 없습니다.