

Market Review Vol.02

청정수소(Clean Hydrogen)

I .청정수소 Overview 및 주요 수소 분류

- 청정수소 정의 및 특성
- 청정수소 시장 개요
- 청정수소 유형별 분류 : 생산방식 / 컬러코드
- 청정수소 주요 활용 분야

II .청정수소 밸류체인 및 기술 현황

- 청정수소 밸류체인
- 청정수소 생산 단계
- 청정수소 저장·운송 단계
- 청정수소 활용 단계

III. 청정수소 시장의 현황과 전망

- 청정수소 생산 시장
- 청정수소 저장·운송 시장
- 청정수소 활용 시장
- 단계별 국내외 Market Player
- 지역 별 청정수소 시장 현황
- 청정수소 시장 SWOT
- 철강산업의 청정수소 전환 필요성

IV. Appendix



청정수소 Overview 및 주요 수소 분류

- 청정수소 정의 및 특성
- 청정수소 시장 개요
- 청정수소 유형별 분류 : 생산방식 / 컬러코드
- 청정수소 주요 활용 분야



1. 청정수소 정의 및 특성

○ 지역별 청정수소 정의 및 기준

- **EU, 미국, 일본, 중국, 한국은 청정수소에 대해 각기 다른 정의를 제시하고 있으며,**
EU는 색깔 구분 없이 GHG(Green House Gas) 절감 기준을 바탕으로 청정수소를 분류하고 있음
- 청정수소를 인정하는 기준은 일본이 가장 엄격하고, 2순위는 EU, 3순위는 미국, 한국, 4순위는 중국으로 가장 덜 엄격함
- **본 보고서에서는 청정수소 = 저탄소수소 (CO₂ 배출량 절감) + 재생수소 (신재생에너지 활용) 정의를 따르며**
시장 규모 및 예측에 대한 부분은 유료보고서인 imarc . Clean Hydrogen Market Report (2025) 를 메인으로 하였음

지역	정의 (용어)	GHG 배출 강도 기준 (kg CO ₂ e/kg H ₂) 및 범위	정책·기준 (법적 근거)
EU	<ul style="list-style-type: none"> • 저탄소 수소: 비재생원료 기반이지만 GHG 절감 ≥ 70% • 재생 수소: 재생에너지 기반이면서 동일 GHG 절감 기준 충족 	<ul style="list-style-type: none"> · 화석 연료 대비 ≥70% 절감 ⇒ ≤3.38 kg CO₂e/kg · 평가 범위: Well-to-Gate 포함 전 단계 (전수명주기) 	<ul style="list-style-type: none"> · Gas & Hydrogen Markets Directive (EU, 2023) 제 2조(10): ‘저탄소 수소’ GHG 절감 기준 정의 · EU Taxonomy Climate Delegated Act (텍소노미 위임법, 2021): 금융용(세금혜택을 위한) ‘청정 수소’ 배출 기준 < 3.0 kg CO₂e/kg 설정
미국	<ul style="list-style-type: none"> • 청정 수소 (세액공제 대상 ‘Qualified Clean Hydrogen’) 	<ul style="list-style-type: none"> · ≤4.0 kg CO₂e/kg (전수명주기, Well-to-Gate) 	<ul style="list-style-type: none"> · Inflation Reduction Act (2022) § 45V(청정수소 생산 장려를 위해 도입된 세액조항) : 전수명주기(생산/운송·저장/활용 전주기) ≤4.0 kg CO₂e/kg 정의 (IRS 최종규정 2023) · DOE Clean Hydrogen Production Standard (CHPS) (2023): H₂ 허브 기준
일본	<ul style="list-style-type: none"> • 청정 수소(국제 가이드라인 채택 중) 	<ul style="list-style-type: none"> · 생산 단계 기준 ≤ 3.4 kg CO₂e/kg (Well-to-Gate) · 암모니아 기준 ≤ 0.87 kg CO₂e/kgNH₃ 	<ul style="list-style-type: none"> · 수소 기본전략 (METI, 2023): 탄소집약도 기반 평가 강조 · METI 위원회 보고서 (2022.12): 생산 단계 2.0 kg 이하 기준 제안(목표) · CO₂ 배출량 기준, EU와 유사하나 점진적 달성 목표 기준이 엄격하며, 암모니아(NH₃) 기준도 보유
중국	<ul style="list-style-type: none"> • 저탄소 수소 (低碳氢) • 청정 수소 (清洁氢) • 재생 수소 (可再生氢) 	<ul style="list-style-type: none"> · 저탄소 수소: ≤ 14.5 kg CO₂e/kg (생산단계) · 청정 수소: ≤ 4.9 kg CO₂e/kg (생산단계) · 재생 수소: 청정수소 기준 + 재생에너지 사용 	<ul style="list-style-type: none"> · T/CAB 0078-2020 “저탄소·청정·재생 가능 수소 표준 및 평가” (2020) Table 4, Section 3.5, p. 12–13: 배출 강도 및 분류 기준 제시
한국	<ul style="list-style-type: none"> • 청정수소 (등급별 구분) Grade 1,2,3,4 	<ul style="list-style-type: none"> · ≤4.0 kg CO₂e/kg (생산단계) · 등급: Grade 1(0-0.1), Grade 2(0.1-1) Grade 3(1-2), Grade 4(2-4) kg CO₂e/kg 	<ul style="list-style-type: none"> · 수소법 시행령·청정수소 인증제 운영지침 (2023 개정→2024 시행): 생산단계 최대 4.0 kg 기준, 등급별 세부 기준 명시 · 수소경제위원회 의결 (2023.12.18): 청정수소 인증 기준 확정

Source : (1) U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, Hydrogen Europe(2024). (2) Low carbon hydrogen: key principles for a coherent methodology in the upcoming Delegated Act. U.S Department, InfraBiz.
 (3) IEA(2024) <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024/table-Overview-of-existing-and-planned-certification-systems-and-regulatory-frameworks>
 (4) IEA(2020). Opportunities for Hydrogen Production with CCUS in China. (5) GS칼텍스

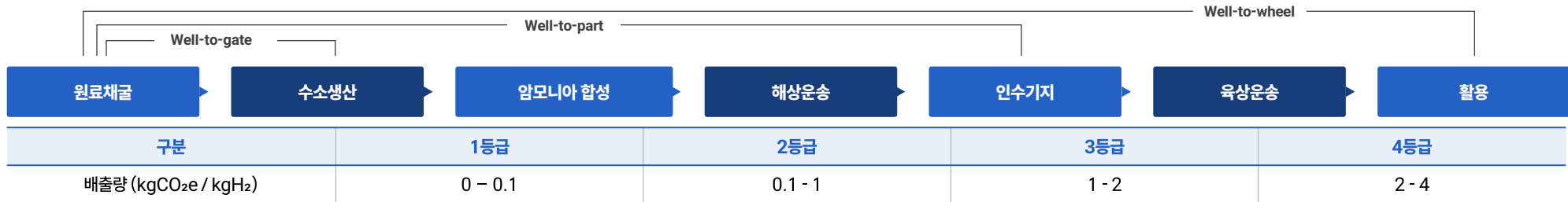
1. 청정수소 정의 및 특성 : 기대효과

○ 청정수소 정의 및 기대효과

- 청정수소는 탄소 절감 생산 방식이 적용된 수소로, 글로벌 에너지 전환 및 탄소중립 실현을 위한 핵심 에너지캐리어(※ 화학합성에 의해 화학적으로 안정되어 있는 물질로 변화 시키는 것)
- 청정수소는 산업(철강, 화학 등), 운송, 발전의 다양한 산업에서 활용되며, 향후 사용량이 증가할 것으로 전망

○ 국내 청정수소 기준 : 전수명주기 (생산, 저장·운송, 활용)

기존 생산 방식(그레이 수소)	청정수소
화학연료(예: 천연가스) 개질 과정에서 생산되며, 이산화탄소를 다량 배출. 현재 가장 널리 사용되는 방식이지만, 탈탄소화를 위해 대체 필요	기존 생산 방식을 개량하거나 전기 분해 생산 방식과 같이 새로운 방식을 적용하여 온실가스(GHG: Green House Gas) 배출량을 줄인 수소
	Well-to-Gate(원료채굴부터 수소생산) 기준으로 측정하여 온실가스 배출량에 따라 다음과 같이 4개 등급으로 구분 (단위: kgCO ₂ e / kgH ₂)



○ 청정수소 기대효과

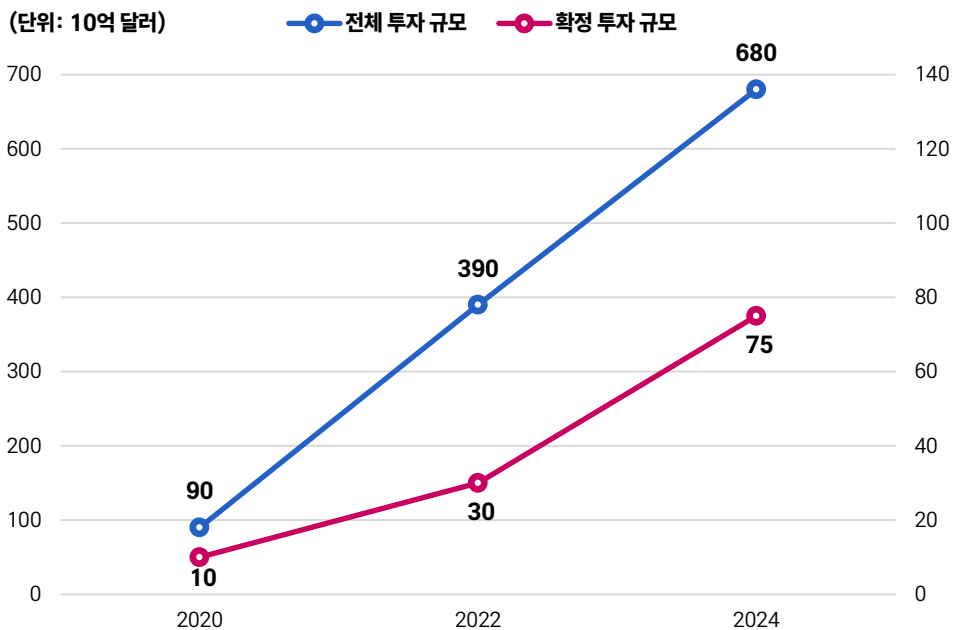
탄소 배출 최소화	기존 화학연료 기반 수소 대비 CO ₂ 배출이 적거나 없음. 블루 수소는 CCUS를 통해 80~90% 이상 탄소 포집 가능. 그린 수소는 생산 과정에서 완전한 높은 수준의 탄소중립 실현 가능
에너지 저장 및 활용	변동성이 큰 재생에너지를 저장하여 필요 시 활용 가능. 연료전지, 발전, 수소차, 산업용 연료로 사용
산업 활용 가능성	산업 [철강: 수소환원제철(HyREX) 기술에 적용 / 화학: 암모니아 및 메탄올 합성 원료], 발전: 수소터빈 및 연료전지를 활용한 전력 생산, 운송: 수소전기차(FCEV), 선박, 항공 연료 활용
경제성 및 기술 발전	현재 생산 비용이 높으나, 기술 개발 및 정부 정책 지원으로 비용 절감 전망. 블루 수소는 기존 인프라 활용이 가능하여 단기적으로 상업성 높으며. 그린 수소는 재생에너지 확대에 따라 장기적으로 경제성이 개선 예상

2. 청정수소 시장 개요

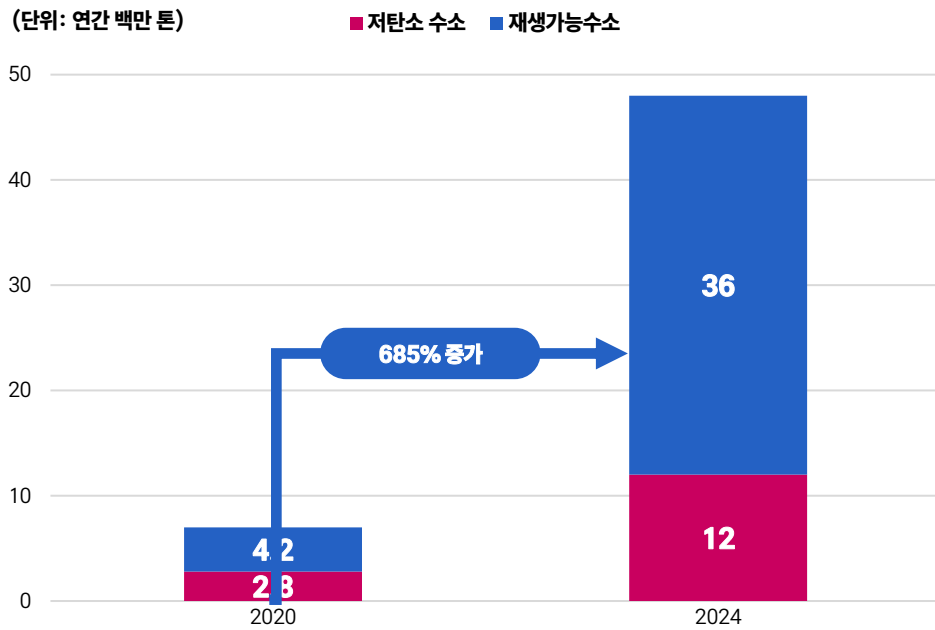
○ 시장 개요

- 2030년 까지 예정된 청정수소의 투자 시장에 대해 2024년 지표로 검토해 보았을 때, 2020년 900억 달러 수준에서 4년 만에 6,800억 달러까지 7.56배 증가하였으며, 투자 확정 단계의 규모도 2020년에 비해 7.5배 증가하며 비슷한 수준을 기록하였음
- 2030년까지 지속적으로 증가할 것으로 예상되는 글로벌 청정 수소 공급 능력은 2020년 연간 700만 톤 수준에서, 2024년 4800만 톤 규모로 685% 성장하였으며, 75%가 재생 수소, 25%가 저탄소 수소일 것으로 추산됨

1 연도별 청정수소 시장 성장세



2 청정수소 공급 능력 성장 현황



3. 청정수소 유형별 분류 : 생산방식

○ 청정수소의 유형별 분류 (1) - 생산 방식

- 수소는 생산 방식에 따라 크게 부생 수소, 천연가스 개질, 전기분해로 구분되며, 각 방식은 생산 원리와 경제성, 탄소 배출량 측면에서 차이를 보임
- 부생 수소는 기존 산업 공정에서 부산물로 얻어 경제성이 높지만, 생산량이 제한적이며 특정 산업에 의존적이므로 대규모 공급원으로 활용하는 데 한계가 있음
- 천연가스 개질 방식은 가장 널리 사용되는 수소 생산 기술이지만, 탄소 배출이 많아 CCS(탄소 포집 및 저장) 적용이 필요
- 전기분해 방식은 재생에너지를 활용하면 탄소 배출 없이 친환경적으로 생산 가능하지만, 재생전력 발전 단계에 비례하는 생산 비용이 단점으로 작용 될 수 있음
- 원자력발전을 연계한 핑크 수소(원자력 전기를 이용한 수전해)와 퍼플 수소(원자로의 고열을 이용한 화학적 반응 및 수전해) 에 대한 관심이 증가하고 있음
- 각 생산 방식의 기술 발전과 정책 지원에 따라 향후 수소 경제의 주력 생산 방식이 변화할 것으로 예상됨

◆ 수소 생산 기술 종류와 특성

생산방식	에너지원	장점	단점	기존	최근
부생수소	화석연료	폐 가스 활용	정제 필요 주위 석유화학 시설 의존 생산량 한계	정유, 제철 공장 내에서 자체적으로 발생 또는 소비	수소 연료가 석유화학 및 제철업체 신규수익원으로 부각
천연가스 개질	화석연료 (천연가스, 석탄)	대량생산 높은 기술 안정도	CO ₂ 발생 많음 (1kg 당 약 9~11kg CO ₂ 발생)	원료인 천연가스 가격 변동에 따른 수소생산가 변동으로 야기되는 경제성 부족	미국 셰일혁명 및 친 천연가스 정책 (트럼프행정부)으로 경제성 개선
전기분해	재생에너지(태양광, 풍력, 조력, 파력)	다양한 친환경 에너지원 활용	높은 생산 단가 지역적 제한 낮은 에너지 효율 대량생산 곤란	높은 재생에너지 발전 단가로 비싼 생산 단가	유럽의 경우 재생에너지 및 잉여전력을 활용한 그린 수소 대량생산의 방향을 수립
	원자력 발전 (전기, 열)	대량생산 CO ₂ 발생 최소화	원자력 거부감 일부 기술개발 중	미국/유럽 등 원자력 기반 수소 생산 프로그램 추진 중	저가의 원자력 전기와 고온공정열을 이용한 핑크/퍼플 수소 생산 관심 증가

3. 청정수소 유형별 분류 : 컬러코드

○ 청정수소의 유형별 분류 (2) - 컬러 코드

- 수소는 생산 방식과 탄소 배출량에 따라 **컬러 코드(Color Code)**로 분류되며, 각 유형은 기술적 특성과 경제성에서 차이를 보임
- 각 유형의 생산 방식과 활용 가능성을 비교하여, 산업별 적용 가능성과 경제적 타당성 검토가 필요

○ 컬러 코드에 따른 수소 종류와 특성

유형	원료타입	생산 방식	탄소 배출	주요 활용 산업	특징	최종생성물
그레이	화석 연료	천연가스 개질 or 부생 수소	다량 배출	정유, 화학	현재 가장 널리 사용되지만, 탄소 배출 문제로 대체 필요	H ₂ + CO ₂ (대기방출)
블루		천연가스 개질 + CCUS	일부 저감 (탄소 포집)	정유, 화학, 발전	기존 인프라 활용 가능하여 단기적으로 경제성 높음	H ₂ + CO ₂ (포집 및 저장)
청록		메탄 열분해	고체 탄소 부산물	탄소 활용 산업, 배터리 제조	이산화탄소 배출이 없지만, 상업화 초기 단계	H ₂ + C (고체 탄소)
핑크	비 화석 연료	원자력 전기 + 저온 수전해	거의 없음(저탄소 기술)	전력 공급, 철강, 화학	원자력 기반으로 경제성이 높고, 기저부하 전력 활용 가능	H ₂ + O ₂
퍼플		원자력 전기 + 고온공정열 + SOEC 전기화학 반응	거의 없음(저탄소 기술)	원자력 발전과 연계한 산업	원자로의 열과 전기를 이용한 효율적 생산 방식	H ₂ + O ₂
그린		재생에너지 전기분해	거의 없음(저탄소 기술)	수소전기차, 발전, 철강, 화학	높은 생산비용이 문제지만 장기적으로 비용 절감 가능	H ₂ + O ₂
화이트		자연발생 (지구내부 지질/화학 반응)	매우 낮음 (생산과정 자체가 탄소중립적)	철강/비료 등 중공업, 수송 등	자연적으로 생성·축적된 수소를 발굴하여 직접 채취하여 수소경제 핵심자원으로 역할 가능	H ₂
레드		원자로의 고온 반응 + 물 활용	거의 없음(저탄소 기술)	고온 수소 생산 기술 활용	고온 가스로 효율적 생산 가능	H ₂ + O ₂
옐로우		전력망(Grid) 활용 전기분해	전력 믹스에 따라 변동	국가 전력망과 연계	국가별 에너지 정책에 따라 청정 여부 결정	H ₂ + O ₂
브라운	화석연료	석탄 가스화 (수증기, 산소 등)	다량 배출	기존 석탄 기반 발전	탄소 배출 문제로 인해 점진적 감소 추세	H ₂ + CO ₂ (대기방출)

4. 청정수소 주요 활용 분야

○ 청정수소 주요 활용 분야

- **청정수소(Clean Hydrogen)**는 화학 소재, 제조, 반도체 산업에 활용될 수 있으며, 주로 기존 수소가 활용되는 분야에 대체되어 이산화탄소와 같은 온실가스를 줄임
- 대표적인 수소 화합물인 그린 암모니아는 수소를 저장하거나 운송에 용이하며 비료 및 화학 연료로 활용됨
- 제조 과정 중 용접, 절단, 냉각 분야에서 높은 전도율과 같은 수소의 특성을 활용하여 기존 방식에 비해 효율성을 증대할 수 있음
- 수소는 화학 기상 증착 공정(Chemical Vapor Deposition, CVD) 반도체 소자 성능 향상 등 반도체 공정 과정과 차세대 반도체, 패키징과 같은 반도체 기술에 다양하게 활용될 수 있어 중요한 자원으로 평가 받고 있음

산업분야	2023년 시장규모 (USD)	2032년 전망 (USD)	주요 내용 / 비고
화학소재	42.8 억달러	697억 달러	암모니아, 메탄올 등 화학 원료용 수소(전체 수소 시장에 적용 가능)
용접(제조)	약 20억 달러 (추정)	약 30억 달러 (추정)	금속 절단·용접용 수소(전체 수소 시장의 1~2% 내외)
냉각제	약 10억 달러 (추정)	약 10억 달러 (추정)	발전기 냉각, 특수 장비용(전체 수소 시장의 0.5% 내외)
반도체	약 15억 달러 (추정)	약 25억 달러 (추정)	웨이퍼 세정, 분위기 제어 등(전체 수소 시장의 0.5~1% 내외)

- 1 화학소재 산업**
 - 그린 암모니아 (Green Ammonia): 재생에너지로 만든 수소로 제작한 암모니아를 의미하며, 수소 저장 및 화학 비료로 활용함
 - E-메탄올 (E-methanol): 청정수소와 이산화탄소로 메탄올을 생산해 기존의 선박 연료 대비 90% 이상 이산화탄소 배출량을 줄이며, 미국 에너지부 산업 프로그램 프로젝트를 통해 연구 중
- 2 제조 산업**
 - 용접 및 절단 공정: 용접 공정은 수소 가스를 활용하여 고온의 아크 생성 및 난용성 금속 용접에 활용하며, 절단 공정에서는 기존 산소 절단 기술에 수소를 활용함으로써 절단 속도 및 품질을 향상함
 - 냉각제: 수소가 일반적인 공기보다 열전도율이 약 7배 높다는 점을 활용해 제조설비 및 발전기의 높은 열을 낮추는 냉각제로 활용함
- 3 반도체 산업**
 - 화학 기상 증착(CVD) 공정: 수소를 활용하여 실리콘 표면에 있는 불순물을 제거하여 반도체 조사의 품질을 높이는 방식
 - 소재 성능 및 전도성 향상: 수소를 활용하여 반도체 결정 구조를 변경하고 결함을 수정해 성능을 향상하고, 반도체 재료의 결함을 제거해 전자 전도성을 향상함

청정수소 밸류체인 및 기술 현황

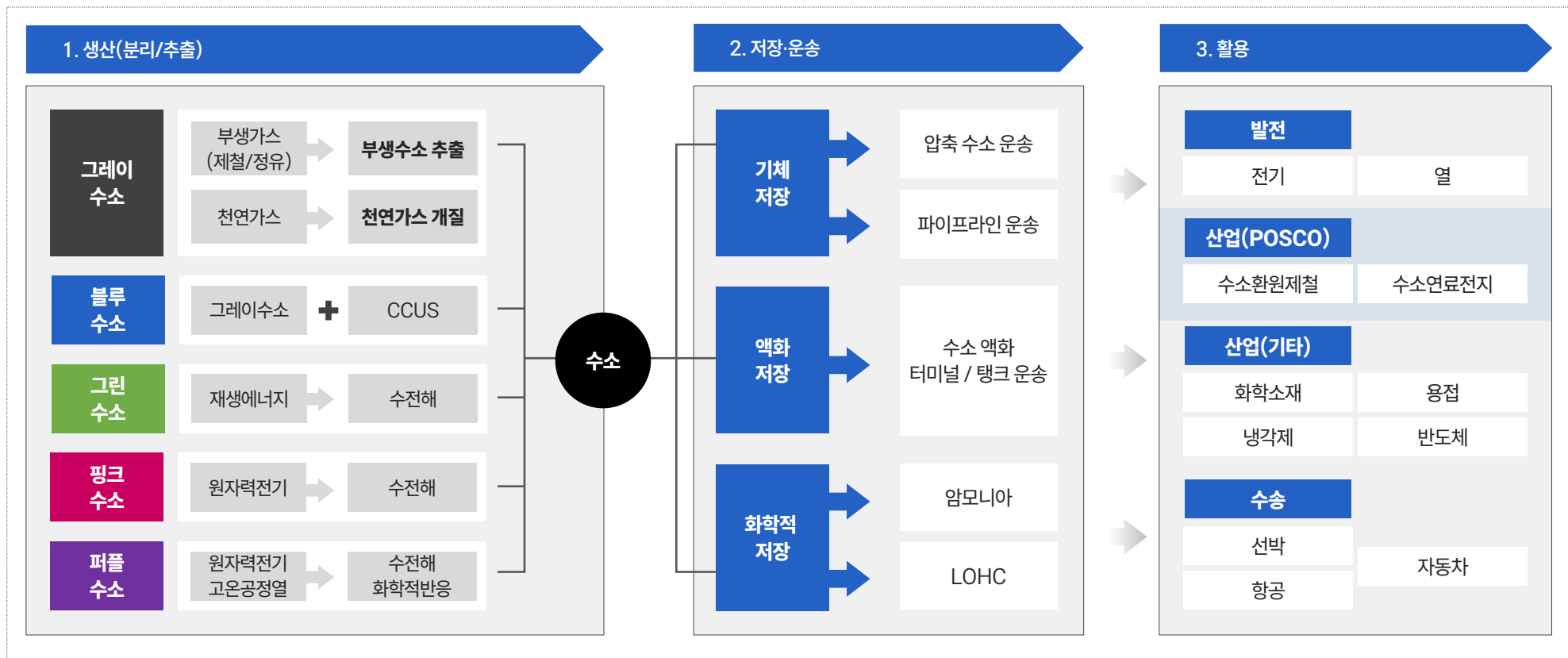
- 청정수소 밸류체인
- 청정수소 생산 단계
- 청정수소 저장·운송 단계
- 청정수소 활용 단계



1. 청정수소 밸류체인

○ 밸류 체인

- 수소 산업은 생산, 저장·운송, 활용의 세 가지 핵심 단계로 구성되며, 각 단계에서의 기술 혁신이 수소 경제 활성화의 핵심 요소가 됨
수소는 가정, 산업, 운송 등 다양한 분야에서 활용되며, 기술 발전과 정책적 지원에 따라 점진적으로 친환경적이고 경제적인 활용 모델이 확대될 전망
- 주요 생산 방식으로는 천연가스 개질·부생 수소 (그레이, 블루), 수전해 (그린, 핑크, 퍼플), 추출 (화이트)이 있으며, 저장 방식은 물리적 저장(고압, 액체) 및 화학적 저장(NH₃, LOHC, 금속수소화물 등)으로 구분됨



2. 청정수소 생산 단계 : Overview

○ 청정수소 생산 단계

- 공기 중 기체 상태의 수소 비중은 0.00005%에 불과해 수소를 에너지원으로 사용하기 위해서는 수전해를 비롯한 수소분리 과정이 필요하며, 공통적으로 원료 → 분리/전환 → 정제/저장의 과정을 거쳐 청정수소를 생산 함
- <탄소중립성> 모든 청정수소 생산 방식은 이산화탄소(CO₂) 배출 최소화를 목표로 함
- <에너지 소스 의존성> 수소 생산을 위해 사용한 에너지 소스에 따라 최종 이산화탄소 배출 여부에 차이가 발생함
- <부산물 관리> 수소 생산에 병행되는 탄소, 질소의 활용 여부가 경제성과 환경성을 결정 지음
- <인증 기준> 주요 국가는 생산 전과정의 이산화탄소 배출량 으로 청정수소 인증을 통일하고 있음

○ 청정수소 생산 공통 매커니즘

공통 단계	주요 내용	적용 기술 예시	글로벌 시장 규모 (*예측 - 보고서마다 상이함)
1. 원료 공급	수소 함유 물질 (물, 천연가스, 암모니아 등) 투입	- 물(H ₂ O): 그린 수소 - 메탄(CH ₄): 블루/청록 수소 - 암모니아(NH ₃): 분해 방식	- 그린 수소: 4.4~6.5억 달러(2022, 2023) → 135억 달러 (2030) → 2,220~2,400억 달러 (2050년) - 블루 수소: 39-52억 달러 (2022,2023) → 220억 달러 (2033년) - 청록 수소: 0.46~2.3억 달러 (2022,2023) → ?
2. 분리/전환	에너지(전기/열)를 이용해 수소 분리: - 전기분해(그린 수소) - 열화학적 반응(블루/청록 수소) - 촉매 분해(암모니아)	- 수전해(전기에너지) - SMR/열분해(열에너지) - 암모니아 크래킹(촉매)	- 암모니아 개질(크래킹): 2억 달러 (2023) → 16억 ~ 70억 달러 (2033 - 2035년)
3. 정제/저장	불순물 제거 및 고순도 수소 회수: - 기체 분리 - 압축/액화 - 저장 시스템 통합	- PSA(압력변동흡착) - Cryogenic(극저온) 기술 - 수소 탱크	- 수소 저장 시장: 19~22억 달러 (2024) → 140 ~ 165억 달러 (2035-2040년) - 액화수소: 0.5~2억 달러 (2024) → 60 ~ 80억 달러 (2035 - 2040년)

2. 청정수소 생산 단계 : 주요 청정 수소별 생산 기술 및 원리

주요 청정 수소 생산 기술 이슈 및 해결방안

- 블루, 청록 수소는 파일럿플랜트(PP) 및 데모플랜트(DP)를 통한 기술실증 단계 이나, 화학반응에 필요한 고온열 공급시 에너지 소모가 큼 → 기존 자원시설을 활용해 대형 생산설비 전환이 빠르고 CCS를 통한 온실가스 저감이 가능하기에, 정책 보조를 통한 그린 수소 전단계 기술(Bridge)로 활용(기술표준화, 시장 성장, 전문인력 양성 등 필요)
- 그린, 핑크, 퍼플 수소는 이산화탄소 배출이 적으나 기존 방식에 비해 기술 성숙도가 낮고 상용화 사례 부족

주요 청정 수소	수소 생산 기술	장점	이슈/ 해결방안
블루	천연가스 개질 (수증기 개질) $CH_4 + 2H_2O \rightarrow 4H_2 + CO_2$ (CCUS)	<ul style="list-style-type: none"> 고농도 수소 제조 가능, 공정 기술의 성숙도가 높음 천연가스의 87% 정도 비중을 차지하는 메탄이 H 비율이 높아 수소 생산에 유리 	<ul style="list-style-type: none"> NG 수증기 개질은 흡열반응으로 고온·고압을 요구하며, 외부에서 고온열 공급 필요 (> 10kg-CO₂/kg-H₂) 수소생산과정 중 배출되는 CO₂ 포집-저장이 필요하며, 대규모의 CO₂를 저장하기 위한 저장소 필요 (해외 CO₂ 저장소의 경우, 국가간 CO₂ 처리 관련 협약 추가 필요)
청록	열 분해 $CH_4 \rightarrow 2H_2 + C$ (고체탄소)	<ul style="list-style-type: none"> 수소생산반응에서 기체 CO₂가 아닌 고체 탄소(C) 배출 고체탄소의 고부가가치화를 통한 경제성 제고 가능성 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 높은 NG 열분해 반응온도로 인해 외부 열원공급을 요구하며, 에너지 투입량이 높을 것으로 예측 현재 PP/DP 급 설비로 기술 검증 중 블루 수소 대비 동일량의 수소생산에 약 2배의 천연가스량 필요
그린 핑크 퍼플	전기 분해 (수전해) $H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2}O_2$	<ul style="list-style-type: none"> 물로부터 수소를 생산하므로 반응과정 중 이산화탄소 발생 無 해외 초저가 재생전력, 국내 원자력과 연계하여 수전해 수소 공급망 다변화 가능 태양광, 풍력 등 재생에너지를 이용한 전기를 사용하는 경우, 완전한 탄소중립이 가능함 	<ul style="list-style-type: none"> 그린 수소는 상용화 중이나 아직 생산단가 높고 대형화 및 내구성 기술 확보 필요 국내 그린 수소의 경우 고 재생전력 비용으로 인해 경제성이 낮으며, 해외 생산 그린 수소의 경우 국내까지 도입에 저장운송 비용이 추가되어 공급단가 상승 원자력 연계 수전해 수소생산(핑크,퍼플)의 경우, 스케일업/고내구성/고온공정열 연계 기술확보와 더불어, 수소생산을 위한 대규모 전력 구매 계약 (PPA, Power Purchase Agreement) 필요 (대용량화時, 추가 원전 구축 및 부지 확보 必)

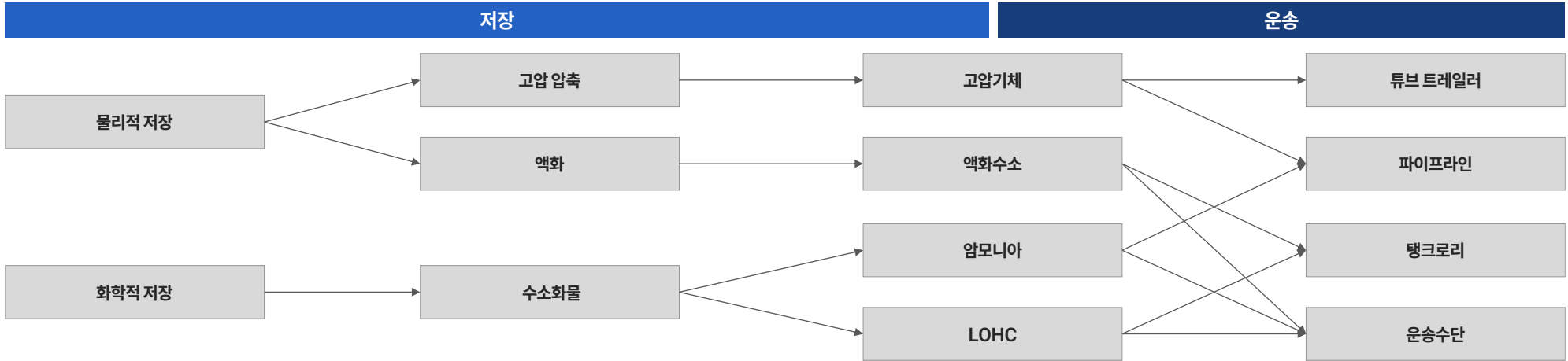
Source : (1) 손영준. (2019). '전문가 연재 신재생에너지의 현재와 미래'. 기계저널, p53-56. (2) 강상규, '수전해 기본 원리 및 개발 현황', p10-17. (3) 한국가스공사, 천연가스투어, 에너지경제신문, '잡히지 않는 청정수소 시대, '청록 수소'가 문 열까', (4) 이종수, '대용량 청록 수소 기술 국산화한다', (5) 월간수소경제, SK에코플랜트 뉴스룸, "'진짜 수소'는 따로 있다? 전기로 물을 분해하는 수전해 기술 총정리",

3. 청정수소 저장·운송 단계 : Overview

○ 청정수소 저장·운송 단계 Overview

- 수소 저장 방법은 크게 고압기체, 액화수소, 화합물로 나누어지고, 운송 방법은 튜브 트레일러, 파이프라인, 탱크로리, 운송수단이 있으며 저장법에 따라 적합한 운송 방법을 활용함
- 현재 국내에서는 고압의 기체 수소 저장·운송 방법을 주로 활용하고 있으며 장거리 운송에 특화된 액화 수소, 화학적 수소 저장법을 연구중임

○ 청정수소 저장·운송 기술 개요



○ 주요 청정 수소별 생산 기술 및 생산물

저장 방법	정의 및 방식	특징	활용 현황
기체 수소	수소 고압 압축 저장운송 (200 bar)	<ul style="list-style-type: none"> 기술 성숙도가 높고 상용화된 방법으로 인프라가 존재함 부피가 크며, 압축 운송 중 에너지 손실 가능성이 큼 	국내에서 주로 활용되며 튜브 트레일러의 비중이 높음
액화 수소	수소 저온 액화 (-253°C)	<ul style="list-style-type: none"> 에너지 밀도가 높고, 장거리 운송에 적합함 수소 기화 손실이 있어 장기적인 저장에는 적합하지 않음 	해외 3개사(린데, 에어리퀴드, 에어프로덕트)가 해당기술 보유, 해상 운송 및 육상 운송에 활용 가능
화학적 수소	수소를 화합 형태로 상온·상압 저장 후 저장	<ul style="list-style-type: none"> 에너지 저장 밀도가 높고 안정적인 저장 및 운송에 용이함 분리 과정이 요구되며 에너지 손실 가능성이 높음 	대용량 수소캐리어로 적용 검토 중, 해상 운송 및 육상 운송 활용 가능하며, 수송된 화합물은 장기 저장이 가능하여 수소에너지저장소(HESS*)로 활용 가능

3. 청정수소 저장·운송 단계 : 수소 저장 용기

기체 수소 저장·운송 방법

- 대용량의 에너지를 활용해 수소기체를 고압으로 압축하여 저장하는 방식으로 현재 가장 보편화되어 있으며, 용기 라이너, 보강재에 따라 4가지 종류로 나누어짐

수소 저장 용기 종류

수소 용기 종류		특징
Type1		<ul style="list-style-type: none"> 철, 알루미늄을 활용한 금속제 용기 약 150~350 bar 저장 가능
Type2		<ul style="list-style-type: none"> 금속제를 기반으로 몸통 부분에 유리 섬유를 활용하여 보강한 용기 약 150~350 bar 저장 가능
Type3		<ul style="list-style-type: none"> 알루미늄 라이너를 탄소 섬유를 활용해 전체 보강한 용기 약 350~700 bar 저장 가능
Type4		<ul style="list-style-type: none"> 플라스틱 라이너를 탄소 섬유를 활용해 전체 보강한 용기 약 350~700 bar 저장 가능

3. 청정수소 저장·운송 단계 : 기체 수소 운송 방법

○ 기체 수소 저장·운송 방법

- 기체 상태의 수소를 운송하는 방법은 크게 튜브 트레일러와 파이프라인 운송을 포함한 압축 수소 운송기술이 보편적으로 사용되고 있음

○ 기체 수소 운송 방법 및 특징

운송 방법	개요	특징
튜브 트레일러	<ul style="list-style-type: none"> 수소를 고압(보통 350~700bar)로 압축해, 특수 설계된 탱크나 튜브 트레일러에 저장해 운송함. (100 bar = 101.97 kg/cm²) 	<ul style="list-style-type: none"> 장점 : 비교적 간단하고 단거리 운송에 특화되어 국내에서의 운송에 강점을 보이고 있으며 현재 가장 상용화된 기술임 단점 : 수소의 부피가 크기 때문에 장거리 운송 시 효율이 떨어지고, 압축 과정에서 에너지 손실 발생 가능성 존재함.
파이프라인 운송	<ul style="list-style-type: none"> 천연가스처럼 파이프라인을 통해 기체 상태의 수소를 운송 중임. 	<ul style="list-style-type: none"> 장점 : 대량·연속적 운송이 가능하고, 장기적으로 비용이 효율적임. 단점 : 초기 대규모 투자가 필요하며, 수소의 낮은 에너지 밀도와 금속 파이프 부식(수소 취성) 문제가 있어 전용 파이프라인이 필요함.

○ 국내 수소 기체 저장·운송 개발 현황

현황1	현재 국내의 모든 수소 운송은 기체 운송방법으로 이루어지고 있으며 파이프라인 운송량이 약 93%, 튜브 트레일러 운송량이 약 7%를 점유함.
현황2	국내 수소 운송 업체는 덕양, SPG, SDG, 린데코리아 등이 있으며, 대부분의 국내 수소는 울산, 여수, 대산 지역 석유화학단지에서 생성되어 약 200km의 파이프를 통해 운송됨
현황3	튜브 트레일러의 경우 Type 1 용기에 200bar까지 수소를 압축하여 운송하는 형태가 국내에서 일반적으로 활용되고 있으며, Type 4를 활용한 튜브 트레일러가 개발중임.

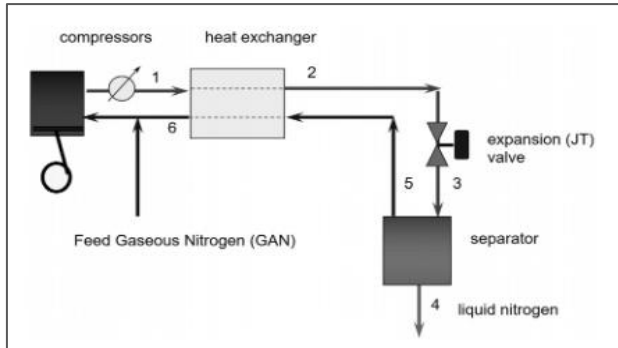
3. 청정수소 저장·운송 단계 : 액화 수소

액화 수소 저장·운송 방법

- 수소(H₂)를 극저온(-253°C)에서 액체 상태로 저장하는 방식으로 상압(3bar)근처 에서 저장 가능하며 체적당 에너지 저장 밀도가 높지만, 수소 기화 손실로 인해 장기적인 저장에 적합하지 않음
- 저장 방법으로는 기존의 질소액화공정기술을 활용한 린드 공정 저장, 클로드 공정 저장, 역 브레이턴 사이클 저장 등으로 나눌 수 있으며, 클로드 공정이 에너지 효율 면에서는 가장 우수하나 복잡한 저장 방식임
- 액화 수소는 기체 수소에 비해 운송 효율을 약 10배 이상으로 올릴 수 있고, 해외는 상용화되어 대도시 내 수소 운반에 주로 활용되며, 대량 운송이 가능해 높은 평가를 받고 있음

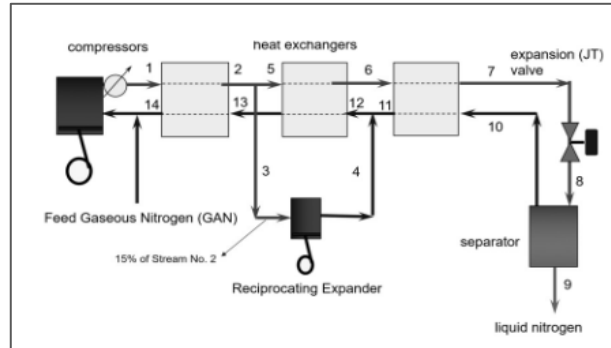
액화 수소 저장법 종류 및 특징

1 린드 공정(Linde process)



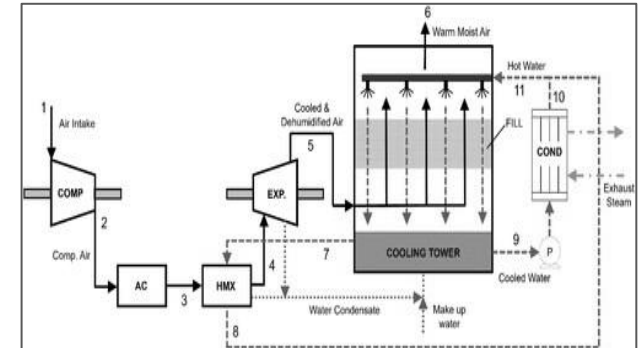
- 기존 가스를 공급하기 위해 활용했던 방법으로, 공기를 압축하고 냉각시켜 수소를 저장하는 방법이며, 공정 과정이 다른 방법들에 비해 단순하고 냉각 효율이 높다는 장점이 있음

2 클로드 공정 (Claude process)



- 기체의 단열 팽창 및 줄-톰슨 효과를 결합하여 기체를 냉각하고 액화 시키는 방법으로 높은 에너지 효율성을 가지고 있으나 팽창기를 추가적으로 냉각하는 과정이 요구되고, 복잡한 구조로 인하여 유지 보수 비용이 크다는 단점이 있음

3 역 브레이턴 공정(Reverse Brayton cycle)



- 브레이턴 공정의 역순으로 작동하는 열역학적 사이클을 의미하며, 다른 방법들에 비해 간단하고 안전한 구조를 가지고 있어 유지 보수 비용이 적다는 장점을 가지고 있지만 효율성이 높지 않음

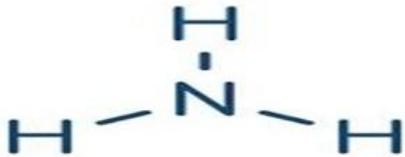
3. 청정수소 저장·운송 단계 : 화학적 수소

○ 화학적 수소 저장·운송 방법

- 화학적 수소저장 방법은 화합물을 매개체로, 화합물-수소간 화학결합 형성 및 분해를 통해 수소를 저장하고 재추출하는 방식. 대표적으로 암모니아(NH₃), LOHC가 있음
- 물리적 수소저장(고압,액화) 방식보다 부피대비 수소저장밀도가 높고, 상온·상압 근처에서 저장·운송이 가능하며, 동시에 기존 화석연료 저장·운송 인프라 활용이 가능
- 일반적으로 흡열반응인 수소추출에는 에너지가 요구되며, 화학적 수소는 액체 유기 수소 운반체(LOHC)나 암모니아(NH₃) 같은 화합물로 변환해 운송하는 화학적 수소 운송 방식으로 운송될 수 있으나, 추가 비용과 에너지 손실 발생 가능성이 존재함

○ 화학적 수소 저장법 종류 및 특징

1) 암모니아 기반



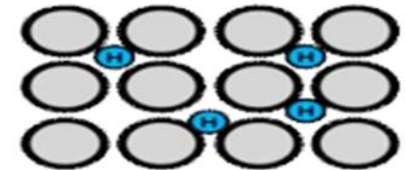
- | | |
|--------------------|---|
| 특징 | • 수소와 질소의 화합물(NH ₃)로 변환해 저장·운송
암모니아 분해(크래킹)로 수소 회수 |
| 장점 | • 수소 저장 밀도 높음
액화점(-33°C)으로 저장·운송 용이
기존 암모니아 인프라 활용 가능
장거리 대량 운송 적합 |
| 단점
및 과제 | • 수소 회수(크래킹) 공정의 에너지·비용 부담
암모니아 독성 및 누출 시 환경 문제
고순도 수소 추출 기술 상용화 과제 |

2) 액상유기수소 운반체(LOHC)



- | | |
|--------------------|--|
| 특징 | • 액상 유기화합물에 수소를 화학적으로 결합해 저장
필요 시 열·촉매로 수소 분리 |
| 장점 | • 상온·상압에서 액체로 존재, 취급·운송 용이
기존 석유 인프라 활용 가능
부피 대비 수소 저장 용량 높음 |
| 단점
및 과제 | • 수소 방출(재변환) 시 에너지·비용 소모 큼
일부 LOHC 물질의 독성·안전성 문제
상용화 초기 단계 |

3) 금속수소 화합물 기반



- | | |
|--------------------|---|
| 특징 | • 금속(또는 합금)과 수소가 결합한 고체 상태로 저장
열 또는 압력 변화로 수소 흡·방출 |
| 장점 | • 높은 저장 밀도
안정적이고 안전한 저장
반복적인 충·방전 가능 |
| 단점
및 과제 | • 무게가 무거움(저장 시스템 전체 중량 증가)
수소 방출에 높은 온도 필요
소재 개발 및 비용 절감 필요 |

4. 청정수소 활용 단계 : 수소 환원 제철(1)

○ 수소 환원 제철

- 수소 환원 제철은 수소를 활용해 철광석을 환원하여 철을 생산하는 공법이며, 기존에 이산화탄소를 배출하는 고로 제철과 달리 물을 배출하여 친환경적이며, 배출된 물에서 다시 수소를 추출해 활용이 가능하다는 점과 기존 방식 보다 높은 비용이 요구되지만 최근 여러 환경 정책으로 인해 인프라 구축과 연구 활동이 활발하게 진행중임
- 현재 개발 중인 수소 환원 제철 공정 방식은 POSCO HyREX와 해외 기업들의 Shaft 환원로가 있으며, 블루 수소 및 그린 수소를 활용하여 기존 이산화탄소 배출을 줄일 수 있을 것으로 기대함

○ 수소 환원 제철 개요

정의	화석연료 대신 수소를 활용하여 철광석을 환원하는 기술
반응식	$Fe_2O_3 + 3H_2 \rightarrow 2Fe + 3H_2O$ (※기존 $Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$)
특징	이산화탄소의 배출량을 줄일 수 있으며, 수소 플라즈마 환원 제철, 냉각 수소화 제철 등 많은 개발과 연구가 진행중임, 기존 고로 방식에서 변화하기 위해 높은 초기 비용이 요구됨

○ 수소 환원 제철 공정 개발 현황

1 POSCO HyREX

- 포스코가 개발중인 공정 기술로 철광석을 원료로 하는 유동환원로를 의미함
- 수소가스가 철광석 분광을 뒤섞으며 접촉하는 방식으로 수소 가스가 원료와 접촉하며 사전 처리 과정 없이 산지 그대로 사용 가능해 사전 처리 과정에서의 이산화탄소 배출을 없애는 장점이 있음
- 사용가능한 철광석의 종류로는 적철광, 자철광, 갈철광이 있으며 블루 수소 및 그린 수소를 활용하는 방식으로 친환경 측면에서 강점을 가지고 있음

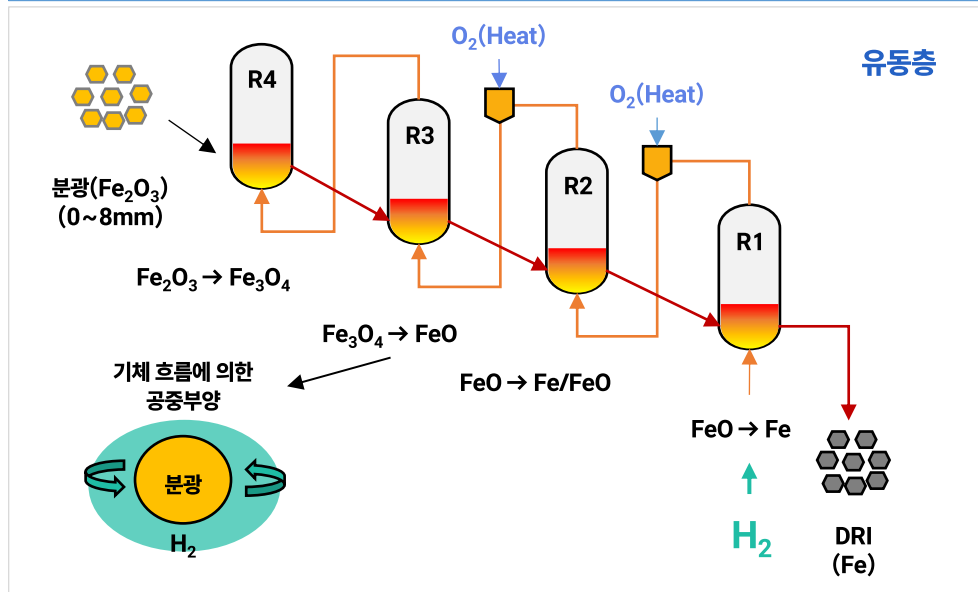
2 Shaft 환원로

- 주로 SSAB, HBIS등 해외 기업들이 선두하고 개발 중인 기술로 약 10~16mm의 고품위 펠릿을 원료로 하는 환원로를 의미함
- 수소가스가 펠릿 사이 공간을 통과하며 접촉하는 방식으로 철광석을 펠릿으로 사전 제조하는 과정이 필수적이며, 이 과정에서 이산화탄소 배출 위험이 있음
- 사용가능한 철광석의 종류로는 적철광, 자철광이 있으며, 천연가스와 그린 수소를 100%활용하는 방식으로 친환경적임

4. 청정수소 활용 단계 : 수소 환원 제철(2)

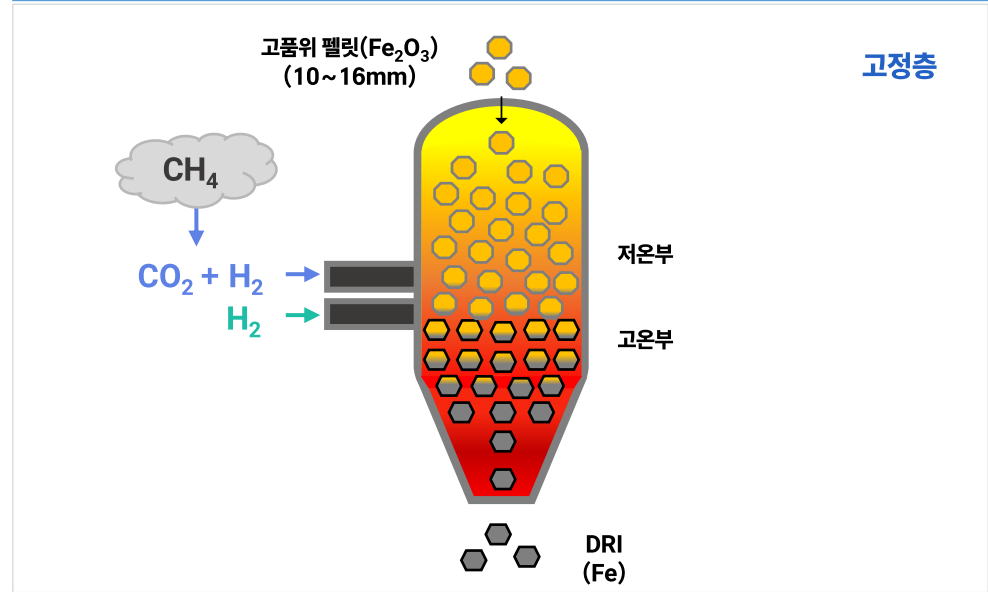
POSCO HyREX 유동 환원로와 Shaft 환원로

1 POSCO : 유동환원로(HyREX)



원료	• 적철광, 자철광, 갈철광: 사전 처리 하지 않고 사용
공정	• 수소가스가 철광석 분광을 뒤섞으며 접촉 • 다원 환원로로 이루어져 900°C 이하의 환원가스 주입 만으로도 충분한 환원 가능
전망	• POSCO는 2028년까지 연산 100만 톤 규모의 시험설비 건설, HyREX의 상업화 가능성 실험 • 100% 수소 DRI는 상대적으로 용융이 어려워 새로운 전기로 기술 필요

2 해외 철강사 : Shaft 환원로



원료	• 적철광, 자철광을 사전 처리하여 고품위 펠릿으로 제조
공정	• 수소가스가 펠릿 사이 공간을 통과하며 접촉 • 단일 환원로로 이루어져 상부의 온도가 저하되기 쉬워 1000°C 이상 고온의 환원가스 주입
전망	• HyREX 보다 선도적으로 기술개발이 진행 중 • 100% 수소 전환을 위한 환원로의 열 부족과 원료 제한을 극복하는 기술 개발에 상당 기간 소요

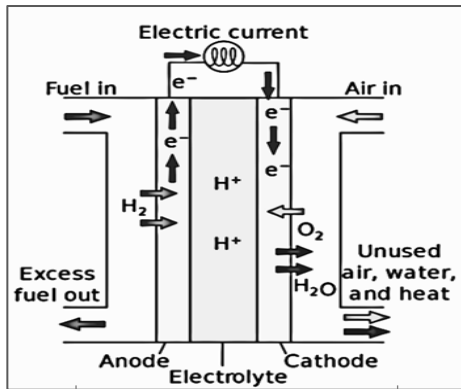
4. 청정수소 활용 단계 : 수소 연료 전지

○ 수소 연료 전지

- 수소 연료 전지는 수소와 산소를 화학 반응하여 전기를 생성하는 장치로 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환할 수 있어 발전 효율이 높으며, 부산물로 물과 열만 발생하여 친환경 고효율 발전이 가능함 (내연기관 : 30~40%, 연료전지 40~90%)
- 수소 연료 전지는 전해질에 따라 분류하며, 고분자 전해질 연료전지, 인산형 연료전지, 응용탄산염 연료전지, 고체산화물 연료전지가 있음

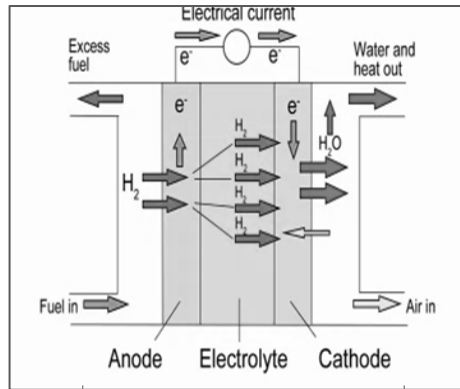
○ 수소 연료 전지의 종류 및 특징

1 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)



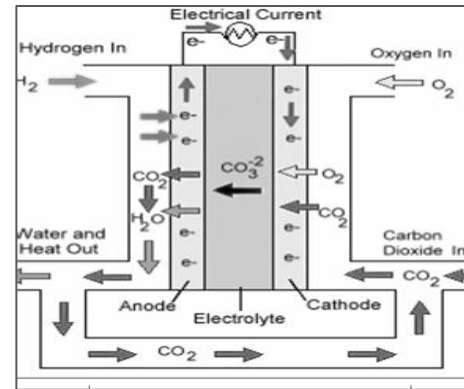
- 60~90°C에서 작동 하며 약 40~60%의 효율을 가지고 있음
- 고분자막 전해질로 이루어져 있으며, 수kW~수백kW의 출력이 가능하여 주로 운송수단 및 수송용으로 활용됨
- TRL8의 초기 상용화 단계에 있으며, 자동차, 버스 등의 운송 수단에 자주 활용됨

2 인산형 연료전지(PAFC)



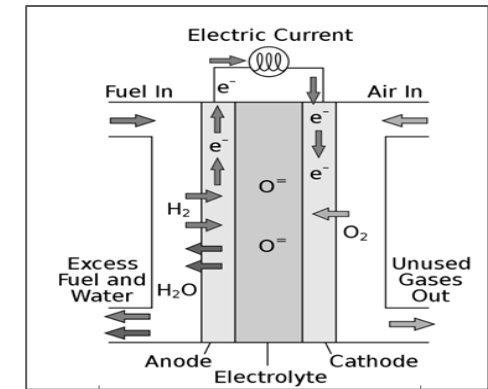
- 150~200°C에서 작동 하며 약 40~50%의 효율을 가져 다른 연료전지 대비 낮은 효율을 가지고 있음
- 인산염 전해질로 이루어져 있으며, 수십kW~수백kW의 출력이 가능해 주로 상업/대형 건물용으로 활용됨
- TRL9로 상용화 단계이나, 다른 기술의 개발로 대체될 것으로 예상됨.

3 응용탄산염 연료전지(MCFC)



- 600~700°C에서 작동 하며 약 50~60%의 효율을 가지고 있음
- 응용탄산염 전해질로 이루어져 있으며, 수백kW~수십MW의 출력이 가능하여 대규모 발전에 활용
- TRL 7~8로 실증 및 초기 상용화 단계로 내구성·경제성 개선 진행중

4 고체산화물 연료전지(SOFC)



- 600~1000°C에서 작동 하며 50%~70%의 효율을 가져 다른 연료전지 대비 매우 높은 효율성으로 분산 발전에 주로 활용됨
- 고체산화물 전해질로 이루어져 있으며, 수kW의 출력으로 발전 출력은 다른 연료전지 대비 낮음
- TRL 7~8로 실증 및 초기 상용화 단계로 내구성·경제성 개선 진행중

청정수소 시장의 현황과 전망

- 청정수소 생산 시장
- 청정수소 저장·운송 시장
- 청정수소 활용 시장
- 단계별 국내외 Market Player
- 지역별 청정수소 시장현황
- 청정수소 시장 SWOT
- 철강산업의 청정수소 전환 필요성



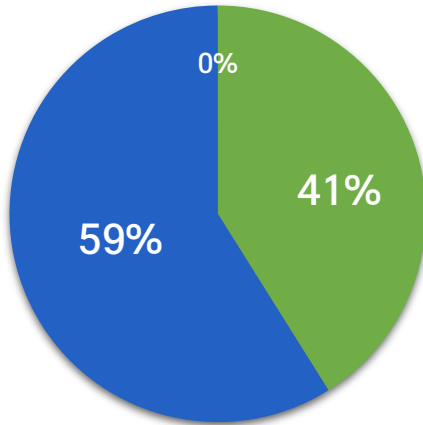
1. 청정수소 생산 시장 : 종류별

○ 청정수소 생산 시장

- 주요 청정수소 종류에 따른 비중은 블루 수소, 그린 수소, 청록 수소 순으로 크며, 청록 수소의 비중은 거의 0에 가까우나 고체 탄소 활용(기후변화 대응, 자원화)의 이슈가 있음
- 청정수소 생산 시장의 규모는 2024년 1조 500억 달러에서 2033년 3조 3,880억 달러까지 성장할 것으로 전망

1 청정수소 종류 별 시장 비중

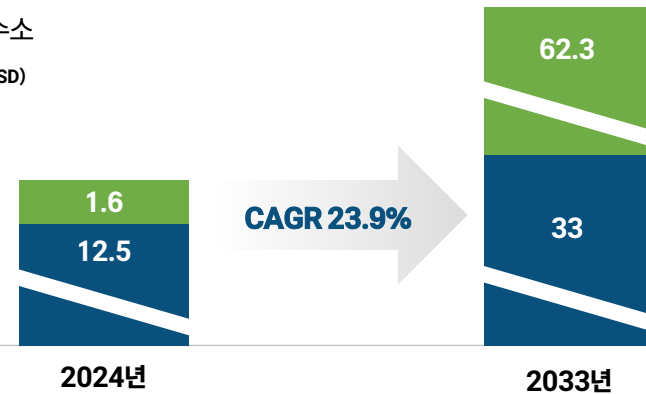
- 블루 수소
- 그린 수소
- 청록 수소



- 24년 시장 규모는 블루 수소 125억 6천만 달러, 그린 수소 16억 8,680만 달러, 청록 수소 2천만 달러로 집계
- 청록 수소 생산에 쓰이는 메탄 열분해 기술은 수소 생산보다 비용 효율적인 고체 탄소 생산에 초점을 두고 있어 CAPEX(Capital expenditures) 수준이 kW당 약 \$5,000로 낮음, 청록 수소의 낮은 가격 경쟁력은 시장 비중이 낮아지는 원인이 됨
- 블루 수소는 기존 천연가스 인프라를 활용할 수 있어 가격 경쟁력 확보 가능하고 상용화가 용이해 현재 청정 수소 생산 시장에서 가장 높은 비중을 차지

2 청정수소 생산 시장 전망

- 블루 수소
 - 그린 수소
- (단위: Billion USD)



- 시장 규모는 2024년 140억 달러에서 2033년 960억 달러로 성장할 전망, 2024-2033년 CAGR 23.9% 예상, 2024년-2033년의 CAGR은 블루 수소 11.5%, 그린 수소 50.3%로 종류별 성장률의 차이를 보일 것
- **[그린 수소 시장 성장 촉진 요인]** EU 탄소중립산업법 제정, 탄소세 및 수소 관련 보조금 지급 등 글로벌 탄소 중립 기조에 부합하는 정책 실행
- **[블루 수소 시장 성장 촉진 요인]** 에어리퀴드, JERA 등 글로벌 에너지 기업들이 블루 수소 프로젝트에 대규모 투자를 진행 중에 있어 생산 인프라 확충 예정

1. 청정수소 생산 시장 : 글로벌 동향

○ 청정수소 생산 시장

- 전체 수소 시장 대비 규모는 작으나, 글로벌 청정 수소 수요가 증가함에 따라 생산·공급이 증가하는 추세
- 화석연료기반의 그레이 수소(약 85%)와 블루 수소(10% 내외)가 공급의 대부분을 차지하나 그린 수소 생산 인프라(전해조 등)증가로 가격 경쟁력 확보에 따라 공급 증가 전망

◆ 글로벌 수소 수요 및 공급 동향

1 글로벌 수소 수요

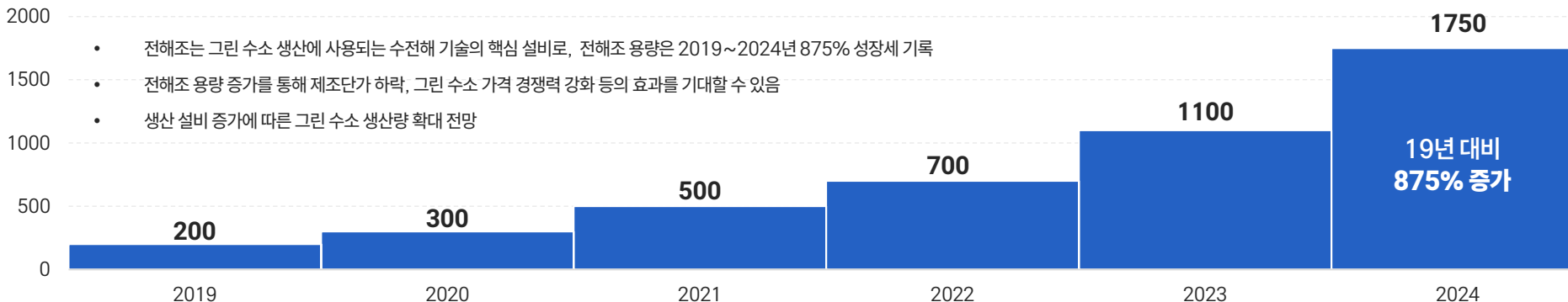
- '23년 청정수소(그린, 블루, 청록) 수요는 전년 대비 약 10% 증가했으나 여전히 전체 수소 수요의 1% 미만 (97만톤 미만)
- 현재의 환경 정책 지속 시 '30년 수소의 수요는 약 4,000만톤 이상에 이를 것으로 전망

2 글로벌 수소 공급 동향

- '23년 기준 청정수소(그린, 블루, 청록 수소) 생산은 연간 100만 톤 미만으로 전 세계 수소 생산량의 1% 미만이며, 대부분 CCUS를 활용한 화석연료 기반 생산. 즉, 블루 수소에 의존
- '30년 수전해 수소 생산 비용은 CCUS를 활용한 화석연료 기반 수준까지 하락할 것으로 전망되며 대규모 보급 가정 하에 2달러/kg 수준까지 생산 비용 절감 가능
- 발표된 프로젝트 기준 '30년까지 연간 청정수소 생산량은 4,000만 톤에 이를 것으로 전망되며, 이 중 약 2/3가 수전해를 통해 생산

○ 그린 수소 생산 인프라 확충 (※글로벌 전해조 용량 : [첨부 8] 참조)

(단위: MW)



- 전해조는 그린 수소 생산에 사용되는 수전해 기술의 핵심 설비로, 전해조 용량은 2019~2024년 875% 성장세 기록
- 전해조 용량 증가를 통해 제조단가 하락, 그린 수소 가격 경쟁력 강화 등의 효과를 기대할 수 있음
- 생산 설비 증가에 따른 그린 수소 생산량 확대 전망

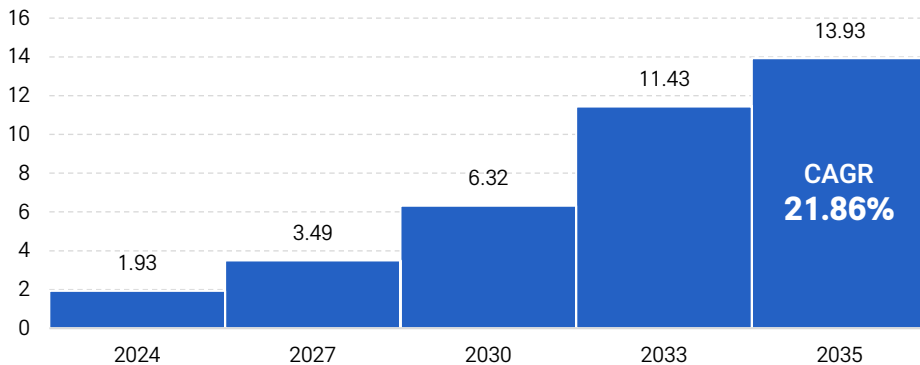
2. 청정수소 저장·운송 시장 : 수소

○ 청정수소 저장 시장

- 글로벌 청정 수소 저장 시장은 기존 2021년~2030년 약 50%의 성장률을 보일 것으로 예상되며, 현재 시장은 기체 중심의 저장 및 운송 시장에서 액화 수소 저장 및 운송으로 전환되어 저장 시장은 새로운 전환점을 맞이할 것임

1 수소 저장 시장 동향

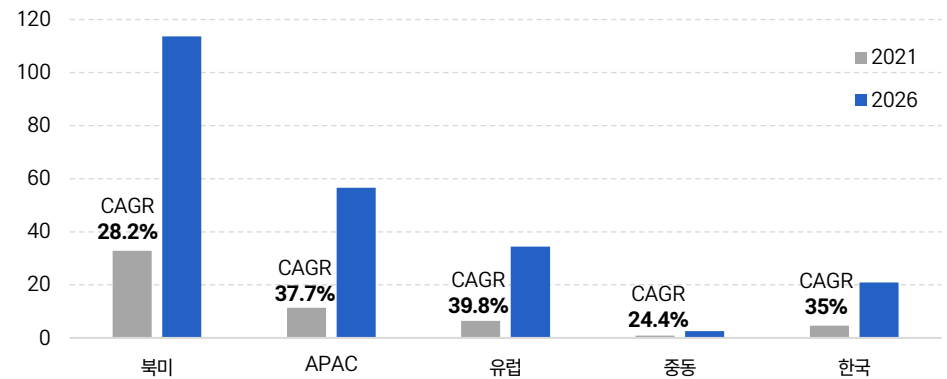
(단위 : 십억달러)



- 세계 수소 저장 시장 규모는 2024년 19억달러에서 연평균 21.86% 성장하여 2035년에 140억달러에 이를 것이며, 저장시장의 성장이 운송시장의 성장을 견인할 것으로 예상됨
- 향후 저장 및 운송 기술의 발전으로 해외 운송 등 장거리 운송 인프라가 구축되어 전체 시장 규모가 커질 것으로 예상하며, 특히 액체수소 저장 기술 등이 상용화되는 시점에 인프라 투자가 활발해져 2050년에는 저장 및 운송 인프라 전체를 포함하여 5,660억 달러 규모로 비약적으로 성장할 것임
- 현재 국내 시장의 경우 수소 저장 및 운송에 대한 유통범위가 좁고 특정 지역에 인프라가 집중되어 있어, 정책적인 보조 및 기업의 투자를 통해 개선해야 하며, 시장을 선도/선점 하기 위한 청정 수소 저장 기술 개발이 시급함

2 지역(국가)별 수소 저장 시장 전망

(단위 : 백만달러)



- '21년 북미 시장 규모는 3,281만 달러로 전체 시장의 약 63%를 차지 하고 있으며 '26년까지 약 28.2%의 성장률을 보일 것으로 예상됨.
- '21년 아시아태평양(APAC)시장은 1,142만 달러로 전체 시장의 22%를 차지하고 있으며, 약 38%의 성장률로 2026년 5,665만 달러의 저장시장을 형성함, 앞으로도 약 27%의 시장 점유율이 예상됨
- 아시아태평양(APAC) 시장의 높은 성장률은 수소 모빌리티를 위한 Type 3와 Type 4 고압수소저장용기 연구 개발 활성화 및 수소차, 충전 인프라, 전해조 설비의 높은 보급률과 연관이 있을 것으로 판단됨
- 국내 시장은 2021년 467만 달러에서 2026년 2,094만 달러로 성장할 것으로 전망되며, 이는 한국의 수소 정책에 따라 수소차 보급 확산 및 관련 인프라 확대와 연관이 있을 것으로 판단됨

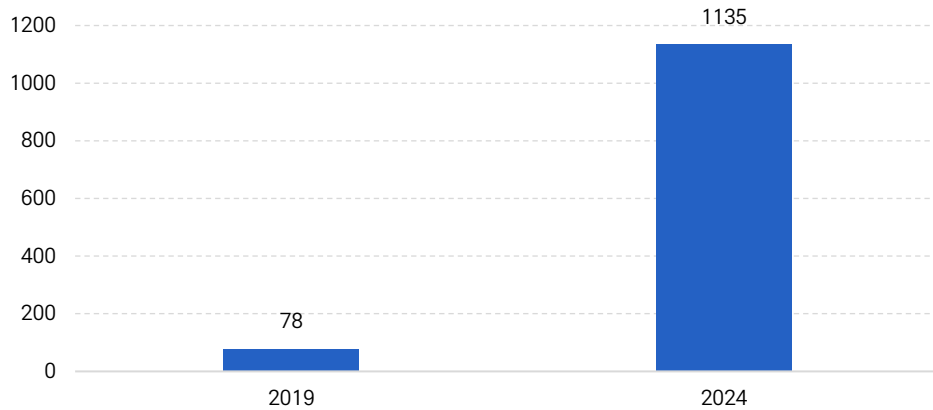
2. 청정수소 저장·운송 시장 : 암모니아

○ 암모니아 기반 수소 캐리어 시장

- 암모니아 기반 수소 캐리어 시장은 2019년~2024년 사이 약 14.5배 증가했으며, 2033년 까지 2025년 대비 약 61배로 매우 크게 성장할 것으로 전망됨

1 글로벌 청정수소 시장(암모니아) 현황

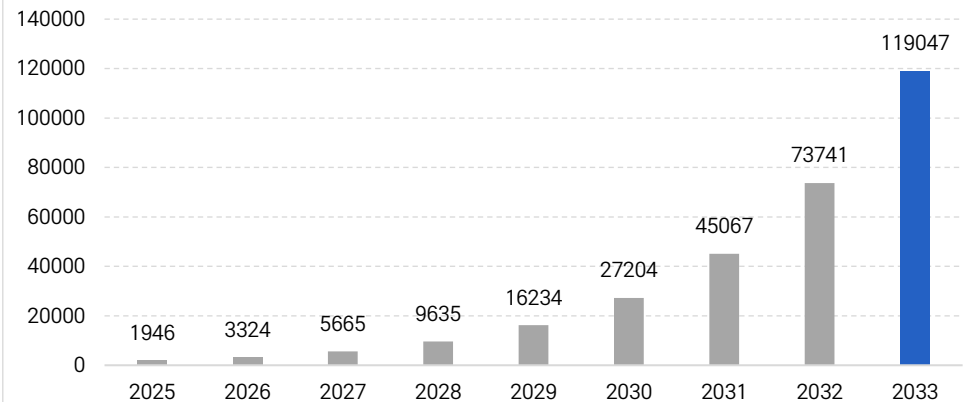
(단위 : 백만달러)



- '24년 암모니아 산업의 글로벌 청정 수소 시장 규모는 11억 3,500만 달러로, '19-24년 CAGR 70.8% 기록하며 높은 성장률을 보여줌
- 수소는 낮은 체적 밀도로 운송 및 저장이 어려우나, 암모니아(NH₃)로 변환 시 안정적이고 에너지 밀도가 높은 저장 매체로 장거리 운송이 용이하며 목적지에서 다시 수소로 분해 가능, 연료전지, 산업 공정, 발전용 수소 유통에 효과적 솔루션 제공하는 등 활용도가 높음
- 비료 산업은 암모니아 주요 소비자(질소 기반 비료)이며, 현재 대부분 화석 연료 기반 그레이 수소로 생산하고 있어 탄소 배출량이 높아, 청정수소 전환을 위한 기술개발 필요

2 글로벌 청정수소 시장(암모니아) 전망

(단위 : 백만달러)



- 글로벌 암모니아 산업의 청정수소시장은 2033년 까지 1,190억 4,700만 달러에 달할 전망이며, 2025-2033년 CAGR(연평균 성장률)은 67.2%로 예상됨
- NEOM Green Hydrogen Company(ACWA Power, Air Products, NEOM 합작) 프로젝트 추진 및 2026년 세계 최대 그린 수소 플랜트 건설, 84억 달러 규모 그린 암모니아 생산 시설 구축 등의 대규모 프로젝트가 진행됨
- 암모니아는 풍력/태양광 등 재생에너지 초과 전력을 수소로 변환 후 질소와 결합해 저장할 수 있고, 암모니아 자체로 저장·운송이 가능하여 시장 성장성이 높음.

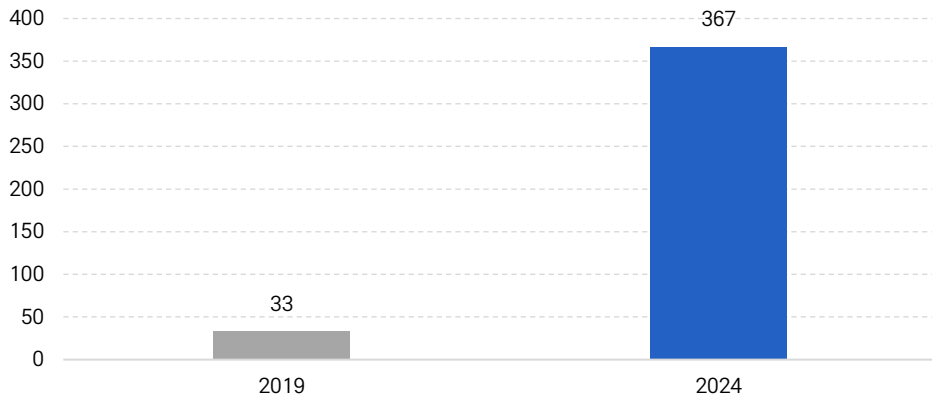
2. 청정수소 저장·운송 시장 : 메탄올

○ 메탄올 기반 수소 캐리어 시장

- 글로벌 청정수소 캐리어 시장 중 메탄올의 형태로 수소를 운반하는 시장의 경우 기존 2019년~2024년 약 12배 증가했으며, 앞으로 9년 동안 (2033년 까지) 약 29배의 매우 큰 성장률을 보일 것으로 전망됨

1 글로벌 청정수소 시장(메탄올) 현황

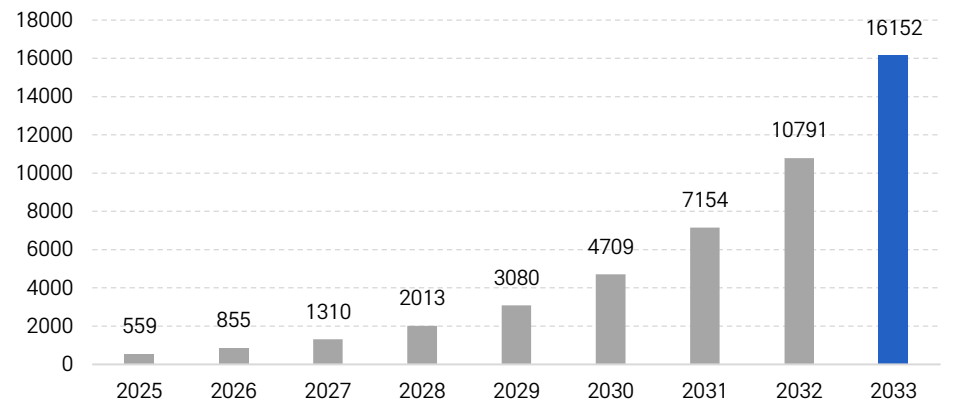
(단위 : 백만달러)



- 2024년 메탄올 산업의 글로벌 청정 수소 시장 규모는 3억 6,700만 달러로, 2019-2024년 CAGR 61.6% 기록하며 높은 성장률을 보여줌
- 메탄올은 수소 운반체 및 생산 원료로 사용되며, 효율적인 저장 수단으로 저탄소 에너지 솔루션으로 주목 받고 있음
- 시장 성장 요인으로는 클린 연료 수요 증가, 메탄올-수소 변환 기술 발전, 탄소배출 규제 관련 정부 정책 등이 있음
- 탈탄소화 목표 달성을 위해 중국, 미국, 유럽 국가들이 메탄올 기반 수소 프로젝트에 공격적으로 투자중임
- 바이오매스, CO₂ 포집 등 재생 가능한 원료로 생산된 그린 메탄올과 함께 수소 생산 지속 가능성을 강화함

2 글로벌 청정수소 시장(메탄올) 전망

(단위 : 백만달러)



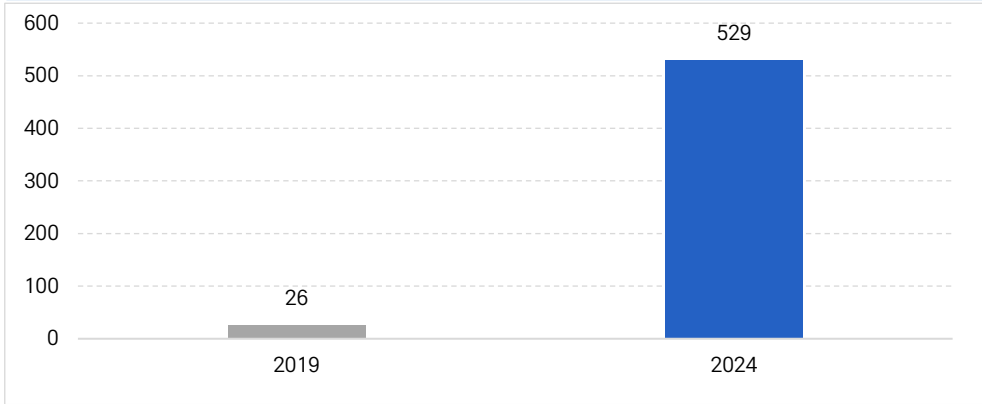
- 메탄올 산업의 글로벌 청정 수소 시장은 2033년까지 161억 5,200만 달러에 달할 전망이며, 2025-2033년 CAGR(연평균 성장률)은 52.3%로 예상됨
- 그린 메탄올, 해운 및 자동차 산업에서 메탄올 기반 연료, 가솔린/디젤 대체재로 검토 중이며, 화석 연료 단계적 폐지 지역에서의 활용성에 주목해야함, Maersk 등 주요 기업 및 국제해사기구(IMO)의 탄소 배출 규제 준수를 위해 메탄올 동력 선박에 투자하는 등 해운 산업에서 높은 활용도를 보임
- 그린 메탄올을 활용함으로써 CO₂, Sox, Nox 배출이 대폭 감소하여 해상 운송 탈탄소화에 기여할 수 있음
- 그린 메탄올의 연료 채택이 증가하며 메탄올 지속 가능 생산 과 함께 청정 수소 수요가 견인 될 것

3. 청정수소 활용 시장 : 철강

○ 철강 분야 청정수소 활용 시장

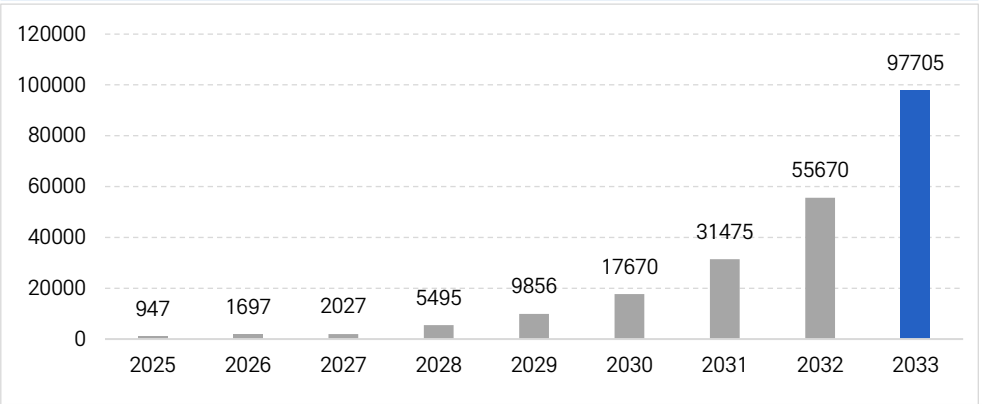
- 철강 분야에 활용되는 글로벌 청정수소 시장은 기존 2019년~2024년 약 20배 증가했으며, 2033년 까지 2025년 대비 약 103배로 매우 크게 성장할 것으로 전망됨

1 글로벌 청정수소 시장(철강) 현황 (단위 : 백만달러)



- 2024년 철강 산업의 글로벌 청정 수소 시장 규모는 5억 2,900만 달러, 2019-2024년 사이의 CAGR은 82.6%를 기록 하며, 탄소배출 규제로 인한 철강기업들의 적극적인 대응이 시장을 견인하고 있음.
- 철강 산업은 석탄 기반 고로 사용으로 CO₂ 및 탄소 배출 비율이 높아 청정수소 활용의 높은 효과를 기대함
- 수소 기반 철 직접 환원(H₂-DRI)은 청정 수소로 CO₂ 대신 수증기를 배출, 탄소 중립 대안으로 작용하며, 한국의 POSCO는 HyREX 유동환원로 기술을 개발하여, 수소 환원 제철로 전환을 추진
- 스웨덴 HyBRIT(SSAB, LKAB, Vattenfall)은 친환경수소로 화석연료없는 철강을 생산하는 것이며, 2035년 상용화를 목표로 하고 있음.
- 유럽 H² Green Steel 프로젝트에서 100% 수소 연료 제철소를 설립하였고, 2025년 상용 제품생산을 목표로 함

2 글로벌 청정수소 시장(철강) 전망 (단위 : 백만달러)



- 글로벌 철강 산업의 청정 수소 시장은 2033년까지 977억 500만 달러에 달할 것으로 전망되며, 2025-2033년 CAGR(연평균 성장률)은 78.5%로 예상함
- 글로벌 산업의 탄소 중립 목표로 그린 스틸 수요 증가, 특히 자동차, 건설, 가전 산업에서 두드러짐
- 볼보, 메르세데스-벤츠 등 자동차 제조사, 저탄소 철강 수요 확대, 애플 등 테크 기업도 지속 가능한 공급망 추구
- 대규모 인프라 프로젝트, ESG 기준 준수를 위해 그린 인증 철강 소재 선호함
- 저탄소 철강 의무화 및 할당제로 철강업체의 수소 기반 생산 전환이 가속화되고 있으며, 청정 수소 공급망의 투자도 확대 중

Source : (1) IMARC. (2025). 'Clean Hydrogen Market Report: By Technology (Alkaline Electrolyzer, PEM Electrolyzer, SOE Electrolyzer), End Use Industries (Ammonia, Steel, Methanol and Refining), and Region 2025-2033'. pp.60-61

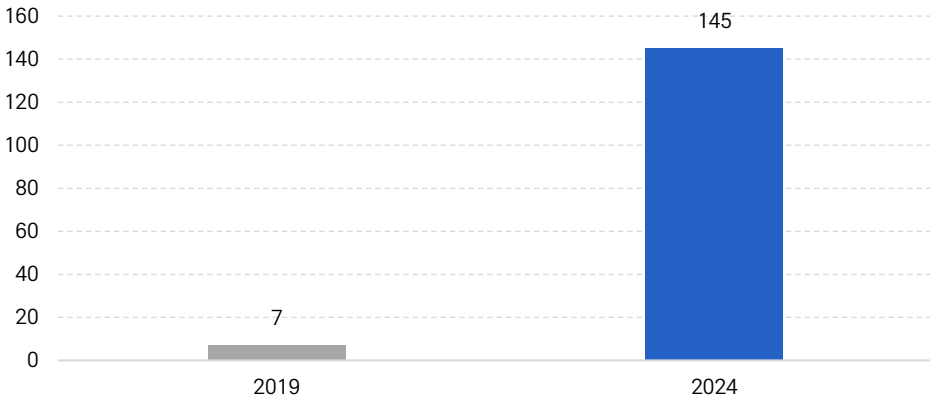
3. 청정수소 활용 시장 : 정유

정유 (Refining : 글로벌 화학소재) 분야 청정수소 활용 시장

- 정유(Refining)는 화학소재에 해당하며, 정유에 활용되는 글로벌 청정수소 시장은 기존 2019년~2024년 약 20배 증가하였음.
- 천연가스 시장 및 인프라와 함께 앞으로 9년 동안 (2033년 까지) 약 120배의 매우 큰 성장률을 보일 것으로 전망됨
(※ 정유 시장과 천연가스 시장은 별도로 구분되지만, 글로벌 에너지 기업들의 사업 포트폴리오에 보통 함께 포함됨)

1 글로벌 청정수소 시장(정유) 현황

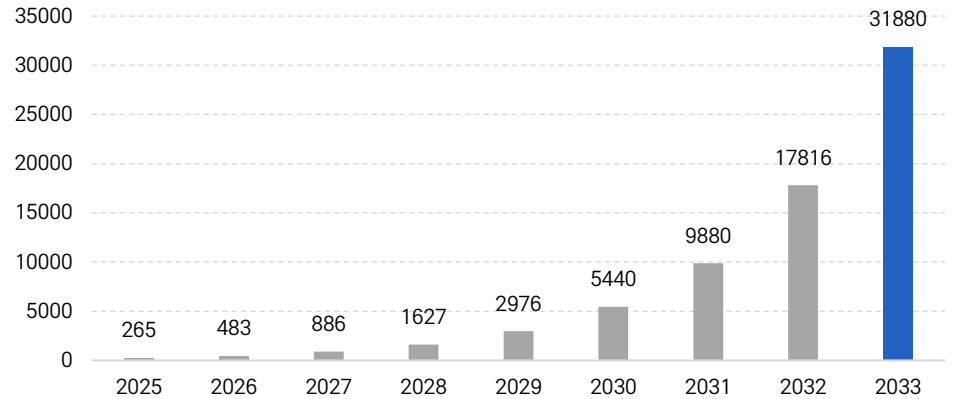
(단위 : 백만달러)



- 2024년 정유 산업의 글로벌 청정 수소 시장 규모는 1억 4,500만 달러를 기록하며, 2019-2024년 CAGR 85.4%로 매우 높은 성장세를 보이고 있음
- 정유 공정의 중질유 분해 및 연료 내 황 제거에 활용 에서 수소가 사용 됨(수소화분해, 수소화탈황)
- 전통적 수소 생산인 천연가스 기반 스팀 메탄 개질(SMR) 이 증가하고 있으며, CO₂-탄소 배출 저감 및 클린 연료에 대한 수요 증가로 청정 수소가 기존 석유 자원의 대안으로 떠오르는 중
- 세계적으로 저탄소 정유 개발을 촉진하고 있으며, 황 함량 규제(예: IMO 2020), 탄소 가격제, 넷제로 등의 정책적인 압박 및 규제 강화로 정유업체의 그린 수소(전기분해) 및 블루 수소(탄소 포집) 생산 등 청정 수소 전환이 필수 기술 개발 및 투자처로 부상하고 있음

2 글로벌 청정수소 시장(정유) 전망

(단위 : 백만달러)



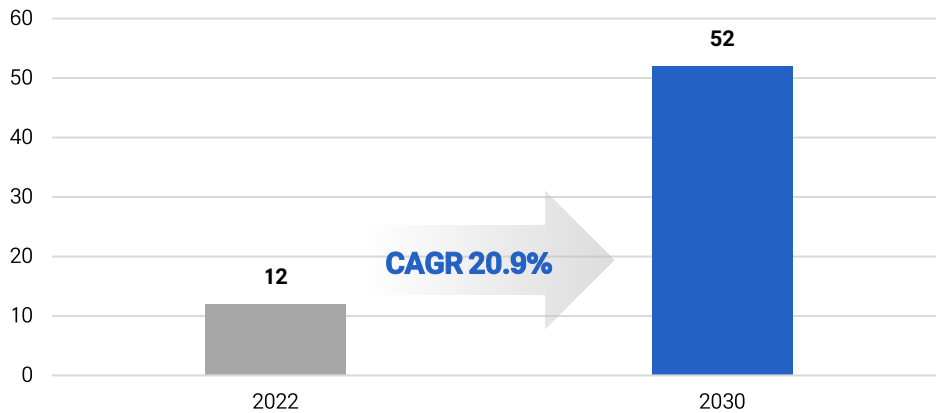
- 글로벌 정유 산업의 청정 수소 시장은 2033년까지 318억 8,000만 달러에 달할 전망이며, 2025-2033년 CAGR(연평균 성장률)은 82.0%로 예상됨
- 주요 기업은 탄소 배출 감소를 위해 그린 수소 프로젝트에 투자중이며, 탄소 포집 기술을 활용한 블루 수소 생산 및 그린 수소 분야 R&D 투자로 CO₂-탄소 배출량의 대폭 감소를 기대함
- 정유업체는 재생에너지 기반 그린 수소 생산을 위해 수소 허브 구축, 석유/가스 기업과 수소 기술 제공업체 협업을 통한 정유 시설의 인프라 개선 및 생산 비용 절감을 추진중
- 수소 저장·운송 및 유통망 구축의 투자가 증가하여, 정유 산업 내 청정 수소 성장이 적극적으로 이루어지는 중

3. 청정수소 활용 시장 : 수소 터빈

글로벌 수소 터빈 시장

- 글로벌 수소 터빈 시장은 2022년~2030년 약 21%의 CAGR(연평균 성장률)을 보일 것으로 예상되며, 현재 천연가스와 수소를 혼합한 연소 터빈 중심의 시장에서 100% 수소 연소 터빈으로 전환되어, 수소를 활용하는 산업은 새로운 전환점을 맞이할 것

1 수소 터빈 시장 규모 (단위 : 억 달러)



- 수소 터빈 시장의 경우, 2022년 12억 달러 규모였으며, 연평균 성장률 20.9%를 바탕으로 2030년 약 52억 달러를 기록할 것으로 추정됨
- 초기 천연가스와 수소를 혼합한 혼소 연소 터빈을 주로 활용하였으나, 기술의 발전으로 100% 수소 연소가 가능한 수소 터빈이 전체 시장의 대부분을 차지할 것으로 예상됨
- 수소 터빈은 발전용으로 활용되는 것을 넘어, 앞으로 다양한 산업에서 수소 터빈의 수요가 증가할 것으로 예상됨

2 수소 터빈 종류

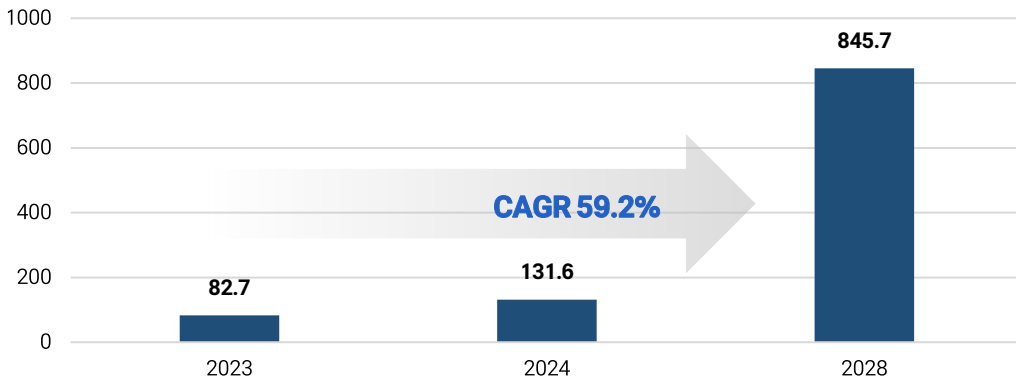
터빈 종류	특징
Diffusion Burner 	<ul style="list-style-type: none"> 수소와 공기가 연소기 내부에서 즉석에서 섞이며 연소하는 방식 연료 혼합비 조절이 자유로워 100% 수소 운전도 가능하지만, 연소온도가 높아 질소산화물(NOx)가 많이 생성되며, 이를 줄이기 위해 물 또는 증기를 분사해야 함
Dry Low Emission (DLE) 	<ul style="list-style-type: none"> 공기와 연료를 미리 혼합한 후 저온 연소 유도하는 방식 질소산화물(NOx)배출이 15~25 ppm으로 가장 낮음 수소 비율이 높아질수록 연소 안정성 떨어져 현재는 40% 이하 혼합을 일반적으로 활용함
Micromix 	<ul style="list-style-type: none"> 수많은 미세 화염(Micro-Flames)을 동시에 분산 배치하여 연소하는 방식 수소만으로도 100% 연소 가능하면서도 질소산화물(Nox) 배출이 84 ppm으로 상대적으로 낮음 제조 및 제어 복잡성이 높아 기술이 아직 실증 단계에 있음

3. 청정수소 활용 시장 : 수소 운송 수단

○ 글로벌 수소 운송 수단 시장

- 글로벌 수소 운송 수단 시장은 기존 2023년 대비, 2028년 까지 약 59%의 높은 연간 성장률을 보일 것으로 예상되나, 기술 개발과 인프라 구축이 수소 시장의 도전과제가 될 것
- 현대 NEXO, 도요타 MIRAI 등은 수소 승용·승합차를 제조하고 있으며, 중국의 FOTON, 한국의 현대 에서 수소 버스, 수소 트럭 모델들을 중심으로 대형 및 특수차량에서 지속적인 발전을 기대하고 있음 (※니콜라는 보고서상에는 기록되어 있었으나 기업 이슈로 제외 함)

1 수소 운송 수단 시장 규모 (단위 : 억 달러)



- 수소 운송수단 시장의 경우 2023년 약 83억 달러, 2024년 약 131.6억 달러로 증가하는 추세를 보이고 있으며, 연평균 성장률 59%를 바탕으로 2028년에는 845.7억 달러를 기록할 것으로 예상됨
- 수소 운송 수단의 경우, 수소 연료 전지 기술을 중심으로 활용되고 성장하고 있으며, 국내의 경우 수소 버스, 수소차 등 여러 운송수단이 운영되고 있음.
- 영국 자동차 제조 및 무역협회(SMMT)에 따르면 수소 상용차의 생산량은 2025년 까지 누적 75,000대 수준으로 2022년 까지 상승 추세 였으나, 제도적 불안감과 기술력, 인프라 부족 이슈로 생산량이 감소하고 있음. (※동 기간 연도별 차량 생산 증가율 : 전기차 20~35%, 내연기관 차 2% 성장)
- 수소 운송수단은 버스, 트럭 등 대형 및 특수차량에서 성장할 가능성이 높고, 내연기관차는 쇠퇴 국면을 맞이하고 있어, 수소 운송수단의 성장은 수소 시장의 중장기 도전과제가 될

2 수소 운송 수단 종류

수소 운송 수단	수소 운송 수단	주요 마켓 플레이어
수소차		<ul style="list-style-type: none"> • 현대 NEXO : 현대 자동차 대표 모델로, 609km 주행이 가능함 • 도요타 MIRAI : 한 번의 충전으로 650km 이상 주행이 가능함
수소 버스		<ul style="list-style-type: none"> • 현대 일렉시티 수소버스 : 1회 충전으로 약 550km 주행이 가능하며, 수소탱크 용량이 875ℓ로 높은 수치임 • 중국 FOTON 수소버스 : 현재 북경, 상해 등에서 시범 운행 중임
수소 트럭		<ul style="list-style-type: none"> • 현대 엑시언트 수소트럭 : 세계 최초의 대형 수소 트럭 모델 • 니콜라 TRE : 북미에 일부 공급된 수소트럭 모델 ※ 회사는 25.02월 상장폐지 및 자산 매각 진행중

4. 단계별 국내외 Market Player : 생산

○ 생산 단계 Market Player

- 청정 수소를 생산하는 핵심 Market Player는 노르웨이의 Nel, 독일 티센크루프, 미국, 일본, 중국 등의 기업이 다양하게 있으며, 블루 수소와 그린 수소를 주축으로 하고 있음. 본 보고서 에서는 R&D 투자에 대한 정보가 다수 공개된 Air Products 및 일부 기업에 대해 조사함 (※기타 수소 기업 : [첨부 9] 수소 Market Player 지역별 기업데이터 참조)
- 아직까지는 청정수소 생산을 사업 주력 부문으로 하는 대규모 Market Player는 존재하지 않기에 이들의 매출은 대부분 다른 에너지 부문에서 나고 있는 상태임
- Air products는 국가와의 협력을 통해 대규모의 블루 수소를 생산하는 것을 통해 시장 전략을 펼쳐 나가고 있고, Siemens는 그린 수소를 생산해 철강 공정에서 CO₂ 감소를 추구하는 것을 목표로 하고 있음

1 청정수소 생산 Market Player 기업 분석

구분	Air Products	Linde	Siemens Energy	한화에너지
매출	\$ 5,193 M	\$ 32,854 M	\$ 36,188 M	\$ 539 M
직원 수	23,000	66,323	92,000	406
매출 총이익	\$ 2,466 M	\$ 8,024 M	\$ 4,728 M	\$ 58.5M
R&D 투자금액	\$ 500 M	\$ 300 M	\$ 450 M	\$ 150 M

2 생산 단계 Market Player 시장 전략

구분	청정 수소 생산 전략
Air Products	<ul style="list-style-type: none"> • NEOM 그린 수소 복합단지 건설을 통한 그린 수소 생산 • 루이지애나 클린 에너지 콤플렉스에서 블루 수소 생산 • 캐나다 앨버타주 수소 에너지 단지에서 청정 수소 생산
Linde	<ul style="list-style-type: none"> • SMR을 탄소 포집 및 저장 기술과 결합해 블루 수소 생산 • 재생 에너지원으로부터 얻은 전기 분해로 수소 생산
Siemens Energy	<ul style="list-style-type: none"> • 2024년 7월 독일의 대형 에너지 유틸리티 회사인 EWE AG와의 계약을 통해 연간 26,000톤의 그린 수소를 생산해 철강 공정에서 CO₂ 감소 추진
한화그룹	<ul style="list-style-type: none"> • 2023년 H2MEET 전시회에서 재생에너지, 암모니아를 활용한 청정수소 및 수소발전, 부산물(고체탄소) 생산계획 발표

Source : (1) AIR PRODUCTS. (2024). (2)'GENERATING A CLEANER FUTURE Sustainability Report 2024', Linde. (2023).

(3)'A company for All Seasons Annual Report 2023', Siemens Energy. (2024). (4)'Focusing on resilience Sustainability Report 2024', 한화에너지

4. 단계별 국내외 Market Player : 저장·운송

○ 저장·운송 단계 Market Player

- 청정수소를 저장하여 유통하는 기업 중, Air Products, Linde는 산업용 가스(산소, 질소) 부문에서 대규모 수익을 거두기에 순이익을 거두는 것으로 나타남
- 저장·운송 단계에서 기체 및 액화 수소를 대규모로 저장하고 유통하는 기업은 Air Products, Linde이며 이들은 주로 파이프라인을 통해 청정수소를 공급함

1 청정수소 저장·운송 Market Player 기업 분석

구분	Air Products	Linde	Siemens Energy	한화에너지
매출	\$ 5,193 M	\$ 32,854 M	\$ 890 M	\$ 180 M
직원 수	23,000	66,323	3,000	600
매출 총이익	\$ 2,466 M	\$ 8,024 M	\$ -150 M	\$ 60 M
R&D 투자금액	\$ 500 M	\$ 300 M	\$ 100M	\$ 80 M

2 저장·운송 단계 Market Player 시장 전략

구분	청정 수소 저장·운송 전략
Air Products	<ul style="list-style-type: none"> • 고압, 극저온 탱크로리를 이용해 기체 및 액화 수소를 저장 • 파이프라인, 트레일러를 통해 대량 공급 추진
Linde	<ul style="list-style-type: none"> • 세계 최대 규모의 액화 수소 저장이 가능한 고순도 수소 저장 동굴 보유 • 약 1,000km 파이프라인 구축완료 → 유통망을 통한 대량 공급 가능
Plug Power	<ul style="list-style-type: none"> • 탱크로리를 이용한 극저온의 액화 수소 저장 • 물류 및 운송용 소규모 시스템(저장소, 운송수단)을 통해 수소 공급
Nel Hydrogen	<ul style="list-style-type: none"> • H₂Station 제품군(수소 충전기 + 수소 저장소)을 개발하여 시장에 공급 중이며, 고압의 수소 저장 탱크를 통한 저장·운송을 실현 함 • 협력사인 Shell의 연료 충전소에 H₂Station 수소 충전기를 설치 중

Source : (1) AIR PRODUCTS. (2024). (2)'GENERATING A CLEANER FUTURE Sustainability Report 2024', Linde. (2023). (3)'A company for All Seasons Annual Report 2023', (4) Plug Power, Nel ASA. (2023). (5)'Nel ASA: Annual Report 2023' Nel ASA

4. 단계별 국내외 Market Player : 활용

○ 활용 단계 Market Player

- POSCO Holdings가 추구하는 수소 전수명주기 사업과 유사하게 수소 활용에 대해 관심을 보이는 기업은 SSAB, Nippon Steel, ArcelorMittal이 있으며, 고려아연은 아연 제련 공정에 청정수소를 적용하는 연구를 진행중
- SSAB, Nippon Steel, ArcelorMittal은 청정수소를 이용하여 무탄소 or 저탄소 철강 공정을, 고려아연은 아연 제련 공정에서 수소를 활용해 저탄소를 이루고자 함

1 청정수소 활용 Market Player 기업 분석

구분	SSAB	Nippon Steel	Arcelor Mittal	고려아연
매출	\$ 11,172 M	\$ 56,125 M	\$ 79,876 M	\$ 7,877 M
직원 수	14,500	60,000	126,756	1,500
매출 총이익	\$ 2,132 M	\$ 12,845 M	\$ 8,497 M	\$ 1,092 M
R&D 투자금액	\$ 50 M	\$ 900 M	\$ 1,800 M	\$ 120M

2 활용 단계 Market Player 시장 전략

구분	청정수소 활용(산업, 탈탄소 R&D 등) 전략
SSAB	<ul style="list-style-type: none"> HyBRIT® 프로젝트를 통해 수소를 사용하여 철광석을 직접 환원. 이를 통해 다공질의 철을 생산하고, 이를 철강 제조에 이용해 무탄소 철강 생산
Nippon Steel	<ul style="list-style-type: none"> 수소 기반 철강 생산 기술에 투자하며, 기존 고로 공정에 코크스 석탄 일부를 대체하여, 철광석 환원을 통한 저탄소 수요를 충족시키고자 함
Arcelor Mittal	<ul style="list-style-type: none"> 수소 기반 환원 기술에 투자중이며, 스크랩·슬래그등 철강 부산물 금속 사용 확대와 탄소 포집 및 저장 (CCS) 기술을 병행하며 무탄소 강철 생산
고려아연	<ul style="list-style-type: none"> 아연 제련 공정에서 청정 수소를 활용한 탈탄소화 연구를 진행 중이며, 수소를 이용해 전해 공정의 전력 의존도를 낮춤.

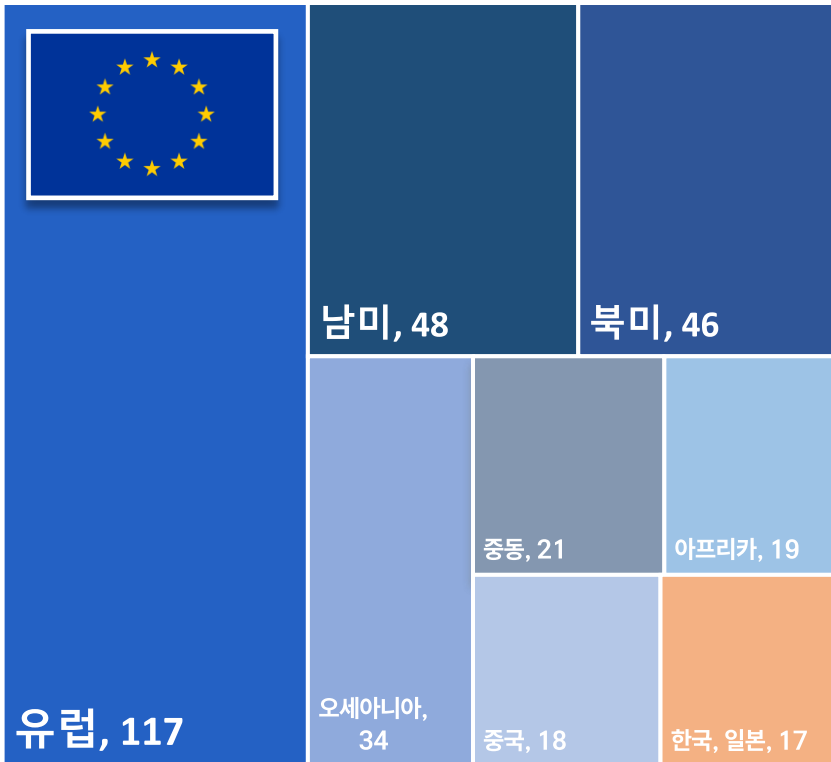
Source : (1) SSAB. (2023). 'Transforming the future of steel Annual Report 2023'. (2) SSAB, Nipponsteel. (2023). (3)'Nippon Steel Sustainability Report 2023', ArcelorMittal. (2023). (4)'Integrated Annual Review 2023'. [ArcelorMittal. abc](#)

5. 지역별 청정수소 시장 현황 : 투자

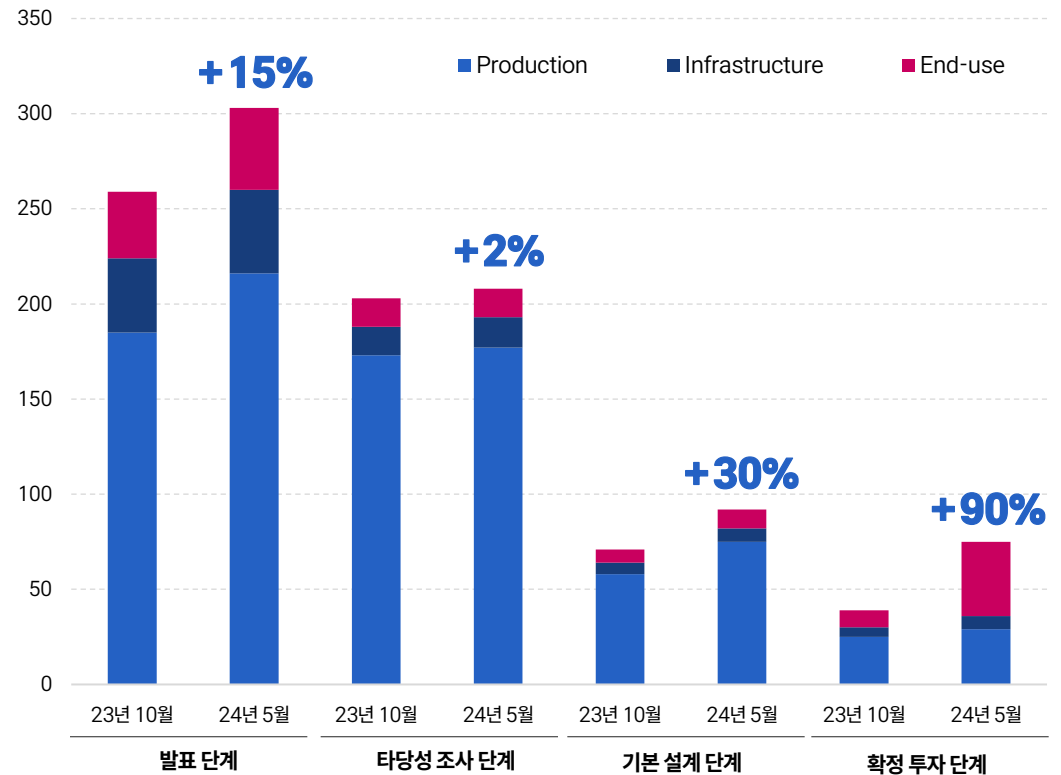
지역 별 청정수소 쏠분야(생산, 저장 및 운송, 활용) - 투자 현황

- 유럽(약 37%), 남미(약 15%), 북미(약 14%)이 글로벌 투자를 주도하고 있으며, 북미의 투자 증가액이 가장 크고, 한국, 일본도 높은 수준의 투자 증가폭을 보임
- 총 투자액 중 75%가 공급, 생산 분야에 집중되어 있으며, 확정 투자 단계에서 충전소, 저장소를 비롯한 인프라 및 최종 활용 부문을 중심으로 90% 가까이 성장함

지역별 투자 규모 (단위: 10억 달러)



단계별 투자 규모 성장세 (단위: 10억 달러)

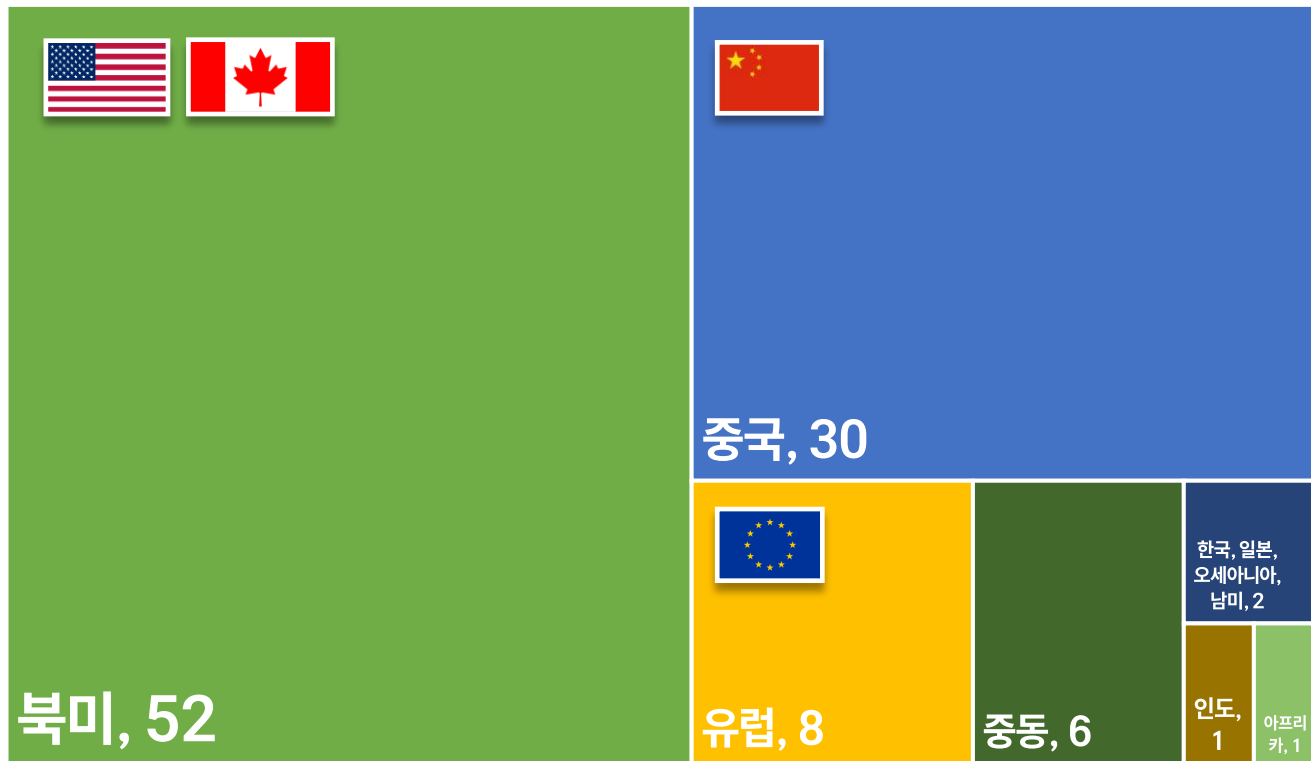


5. 지역별 청정수소 시장 현황 : 생산 및 공급(1)

○ 지역 별 청정수소 생산 및 공급 현황

- 2030년까지 최종 투자 결정을 통과한 프로젝트의 수소 생산량은 전체의 약 82%를 북미지역과 중국이 차지하고 있음
- 유럽은 공격적인 투자로 향후 2030년까지 36.8만 톤 규모의 청정수소 생산량을 확보할 것으로 전망되며, 정책적 보조를 통한 국제시장 주도권을 확보하고자 함

○ 2030년까지 확정된 지역 별 청정수소 생산량 (단위 : kt [kiloton])



○ 2030년까지 확정된 지역 별 청정수소 생산량

지역	특징
북미	<ul style="list-style-type: none"> 총 생산 용량 중 약 85%가 저탄소 수소에 기반 화석 연료 기반 수소 생산 과정에 CCS 기술 도입 총 생산 용량의 66%는 미국, 나머지 34%는 캐나다에 분포
중국	<ul style="list-style-type: none"> 높은 전해조 용량을 바탕으로 여러 대규모 재생 가능 수소 생산 프로젝트 진행 예정
유럽	<ul style="list-style-type: none"> 공격적인 투자로 글로벌 재생 가능 수소 생산 용량의 8%를 차지 포괄적 배출가스 산정 기준 채택(온실가스 감축기준) 산업용·운송용 수소 의무 할당제
중동	<ul style="list-style-type: none"> 사우디아라비아, UAE를 중심으로 대규모 수소 생산 프로젝트 진행

5. 지역별 청정수소 시장 현황 : 생산 및 공급(2)

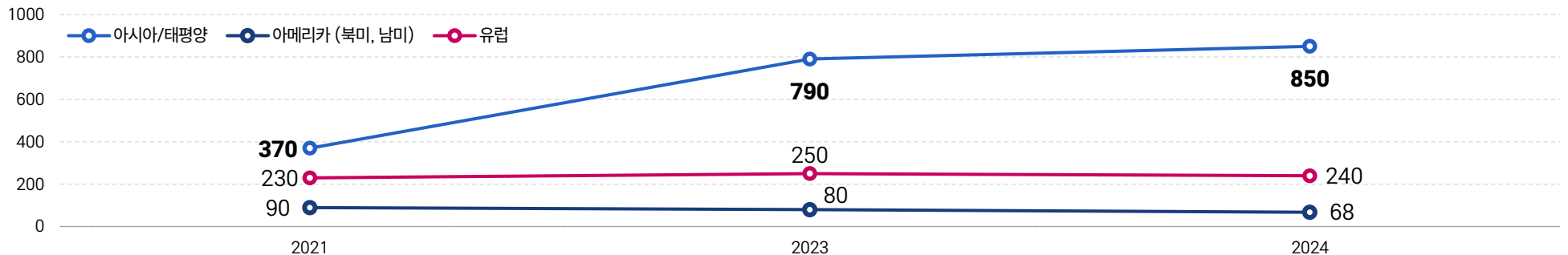
지역 별 수소 저장 및 공급을 위한 충전소 현황

- 수소 연료 충전소 구축은 중국과 한국에서 가파르게 확대되고 있으며, 한국은 인구 수 대비 압도적인 수소 연료 충전소 숫자를 자랑하나 일부지역에 밀집되어 있음
- 유럽과 북미 지역은 수소 연료 충전소의 수가 감소 추세에 있었으나, 유럽은 수소 연료 충전소 관련 정책(대체연료 인프라 규정 : AFIR) 및 의무할당제로 충전소 숫자가 증가할 것으로 판단되며, 북미도 투자 규모의 확대로 수소 인프라가 증가할 것으로 예상됨

지역 별 수소 충전소 분포



대륙별 수소 충전소 성장세 (단위 : 개)



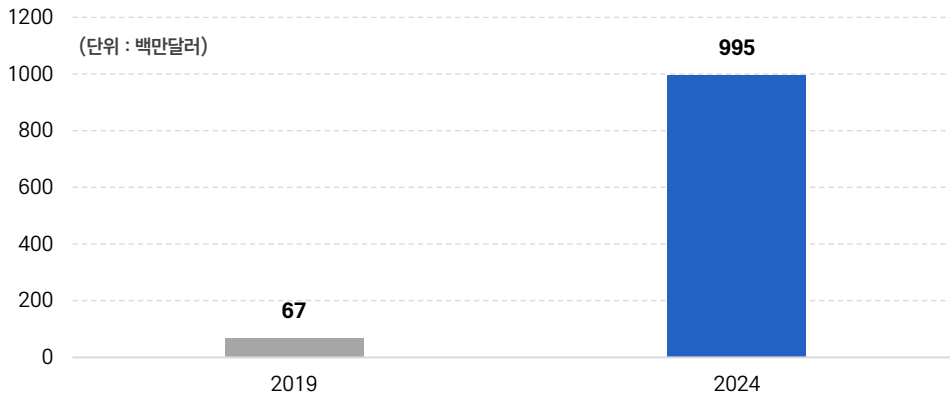
5. 지역별 청정수소 시장 현황 : 아시아-태평양

○ 아시아-태평양 청정수소 시장

- 아시아-태평양 지역의 청정수소 시장은 2019년~2024년 기간동안 약 15배 증가했으며, 향후 2033년 까지, 약 70배의 성장률을 보일 것으로 전망됨

1 아시아-태평양 청정수소 시장 현황

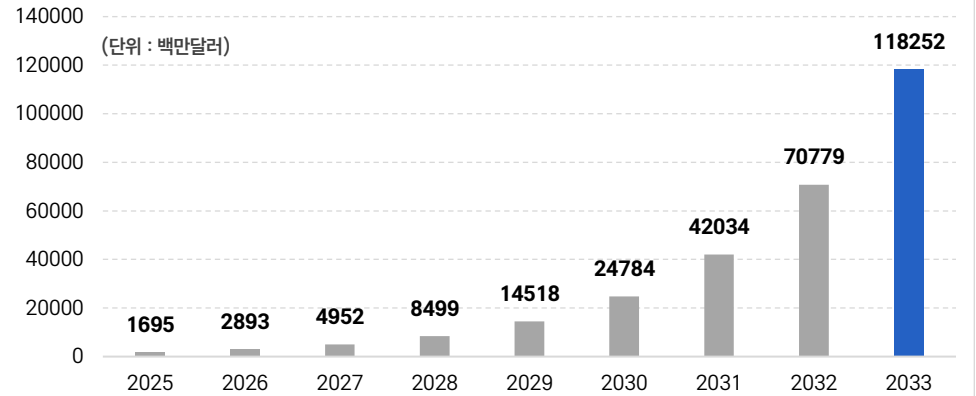
(단위 : 백만달러)



- 2024년 아시아-태평양 지역의 청정수소 시장규모는 약 9억 9,500만 달러이며, 2019-2024년 연평균 성장률(CAGR)은 71.6%로 매우 높은 수준의 성장률을 보임
- 공급 측면** : 아시아-태평양 지역은 풍부한 재생에너지 자원과 중국시장을 기반으로 전 세계 청정수소 시장의 45.7%를 점유하고 있음
- 수요 측면** : 아시아-태평양 지역은 최대 원료 공급처인 암모니아, 메탄올 등의 화학 산업과 이를 뒷받침하는 철강 제조 및 R&D 부문을 중심으로 높은 수요를 갖고 있음
- 전 산업을 아우르는 광범위한 청정 수소 개발 계획을 바탕으로 청정 수소 도입에 가장 앞서고 있음

2 아시아-태평양 청정수소 시장 전망

(단위 : 백만달러)



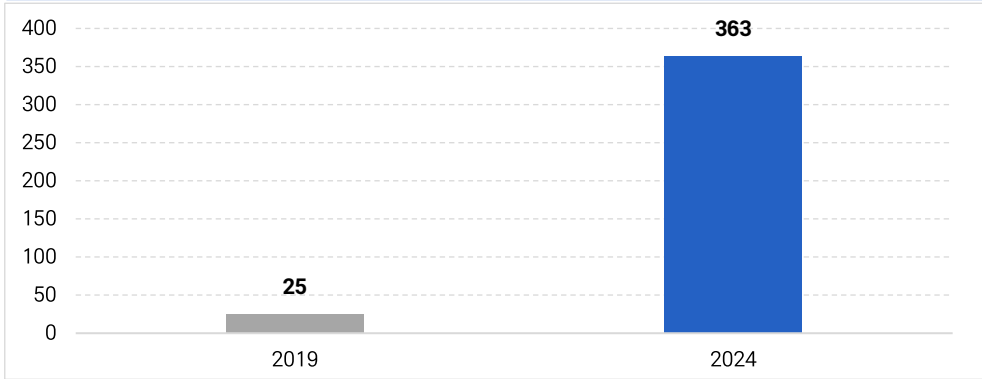
- 아시아-태평양 지역의 청정 수소 시장은 2033년 1,182억 5,200만 달러까지 성장할 것으로 전망되며, 2025-2033년 연평균 성장률(CAGR) 70%를 기록할 것으로 예상됨
- 대부분의 아시아 국가들은 정부 지원 확대, 투자 증가, 탈탄소 목표 등이 시장 성장을 견인하고 있으며, 일본, 한국, 호주, 중국 등의 주요국가는 대규모 생산, 저장, 운송 인프라 구축에 집중하며 수소 인프라를 확장하고 있음
- 호주** : 수소 에너지 공급망(HESC)와 같은 프로젝트를 통해 주요 수소 수출국으로 부상
- 중국** : 재생에너지 확대와 연계하여 그린 수소 생산 대폭 확대
- 한국, 일본** : 수소환원제철(친환경철강 제조), 모빌리티 및 산업용 수소 연료 전지 기술에 적극 투자

5. 지역별 청정수소 시장 현황 : 유럽

○ 유럽 청정수소 시장

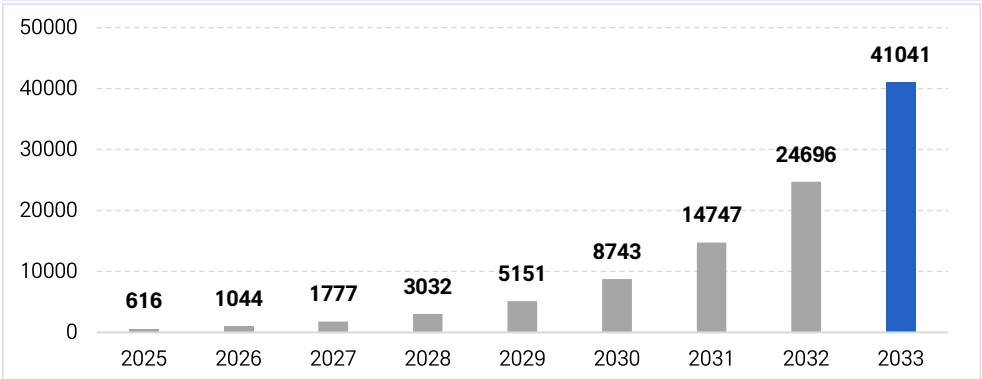
- 유럽 지역의 청정수소 시장은 2019년~2024년 동안 약 14.5배 증가했으며, 2033년 까지 2025년 대비, 약 67배 성장할 것으로 전망됨

1 유럽(EU) 청정수소 시장 현황 (단위 : 백만달러)



- 2024년 유럽 청정수소 시장규모는 약 3억 6,300만 달러이며, 2019-2024년 연평균 성장률(CAGR)은 70.3%를 기록하여, 아시아-태평양, 북미와 비슷한 수준의 성장률을 보임
- 공급 측면** : 유럽은 각국 정부 및 유럽연합의 정책을 바탕으로 청정 수소 보급을 확대하고 있으며, 저비용 재생에너지와 저탄소 전력망 인프라를 보유한 스페인, 스웨덴 등에 청정수소 프로젝트를 다수 배치하고 있음
- 수요 측면** : 2022년 기준 유럽의 총 수소 수요는 8.2 Mt에 달하며, 산업 오프테이커들(off-taker : 최종 생산물 구매자)은 2030년까지 연 7.1 Mt의 청정 수소 사용 계획을 수립하였음. 주요 수요 산업은 암모니아 및 철강산업이며, 주요 수요 국가는 독일로 설정됨
- 유럽연합(EU)은 Fit for 55, REPowerEU 등의 정책을 통해 청정 수소 생산 및 인프라 구축, 산업용 수요에 대한 목표 및 의무할당을 설정하고, 이를 통해 유럽 에너지 전환의 핵심 축으로 수소 산업의 육성을 진행중

2 유럽(EU) 청정수소 시장 현황 전망 (단위 : 백만달러)



- 유럽 지역의 청정수소 시장은 2033년 410억 4,100만 달러까지 성장할 것으로 전망되며, 2025-2033년 연평균 성장률(CAGR) 69%를 기록할 것으로 예상됨
- 유럽연합은 청정 수소 파트너십 정책을 위해, 총 1억 8,450만 유로의 예산으로 청정수소 밸류체인 전반 및 수소 전주기 사업, R&D 등에 걸쳐 혁신과 사회적 가치실현을 촉진하고, 유럽의 청정수소 시장 경쟁력 강화 및 국제사회의 주도권 선점을 목표로 하고 있음
- 유럽 지역은 배관망, 충전소, 저장 시설 등을 포함한 대규모 수소 인프라를 개발 중에 있으며, EHB(European Hydrogen Backbone) 등을 통해, 국경을 초월한 청정수소 파이프라인 유통망 구축을 계획중

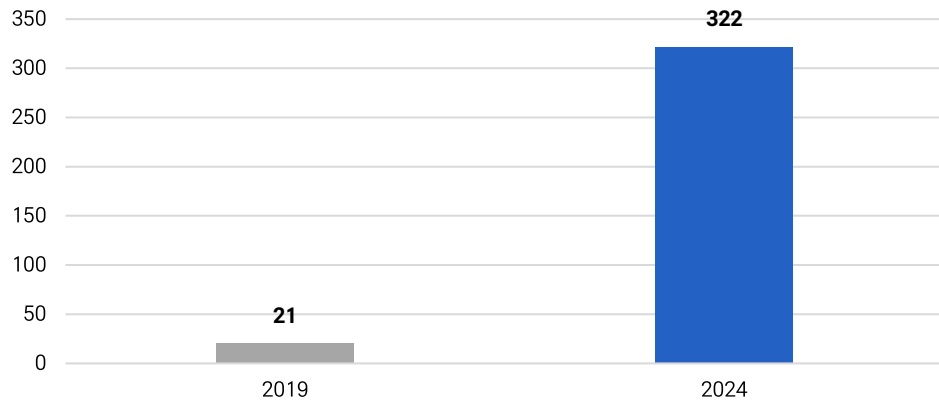
5. 지역별 청정수소 시장 현황 : 북미

북미 청정수소 시장

- 북미 지역의 청정수소 시장은 2019년~2024년 기간동안 약 15.3배 증가했으며, 앞으로 2033년 까지 약 73배 이상 성장할 것으로 전망됨

1 북미 청정수소 시장 현황

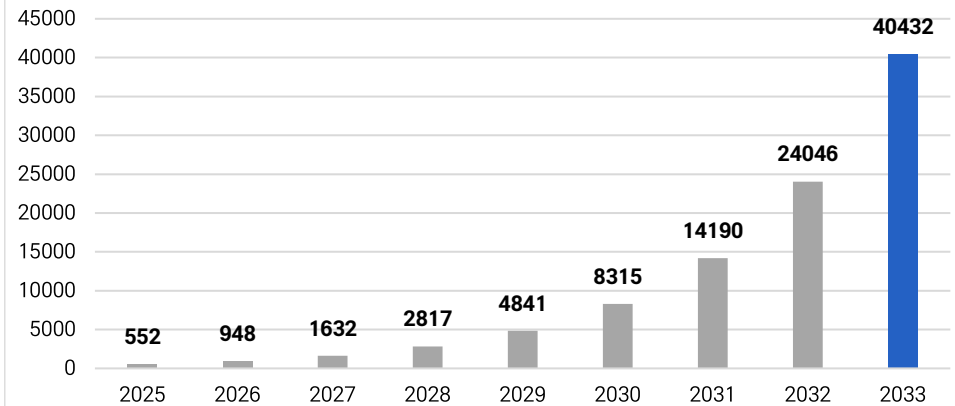
(단위 : 백만달러)



- 2024년 북미 지역의 청정수소 시장규모는 약 3억 2,200만 달러이며, 2019-2024년 연평균 성장률(CAGR)은 73%로 지역별 청정수소 성장률을 비교하였을 때, 최대 수치를 기록함
- 공급 측면** : Hy24의 청정 수소 인프라 펀드는 5,000만 달러의 투자로 StormFisher Hydrogen의 북미 청정 연료 프로젝트를 가속화하여 수소 생산 능력을 증대할 전망
- 수요 측면** : 철강, 정제, 운송 산업 등을 중심으로 청정 수소를 적극적으로 도입하여, 청정 수소 수요를 뒷받침함
- 수소 허브 및 파이프라인 확장 등을 포함한 대규모 인프라 프로젝트로 지역 내 청정 수소 도입을 빠르게 촉진하고 있음

2 북미 청정수소 시장 전망

(단위 : 백만달러)



- 북미 지역의 청정 수소 시장은 2033년 404억 3,200만 달러까지 성장할 것으로 전망되며, 2025-2033년 연평균 성장률(CAGR)은 71%를 기록할 것으로 예상됨
- 미국 정부는 수소 생산 세액 공제(45V) 등의 주요 세금 혜택으로, 기업들의 그린 수소 및 블루 수소 프로젝트 개발을 촉진 중이며, 단일 국가로는 최대 규모의 청정수소 육성 계획이 예정되어 있었으나, 트럼프 행정부의 출범이후, 정책 방향에 대한 불확실성과 불안감이 증가하고 있음
- 청정수소 파이프라인 및 액화 설비 등을 중심으로, 수소 저장·운송 인프라 확장에 집중하여, 재생에너지 기업 및 수소 생산업체 간의 협력을 촉진하고, 청정 수소의 안정적인 공급을 목표로 하고 있음

6. 청정수소 시장 SWOT (※ 첨부 4-7 참조)

○ 청정수소 시장 SWOT

- 저탄소(넷제로: 탄소중립) 배출 목표 달성을 위한 글로벌 정책지원이 확대되어 시장이 성장하는 한편, 인프라 미비 및 저조한 기술 성숙도가 시장 제약요인으로 작용
- 인프라 투자 및 개발 확대로 청정 수소의 가격경쟁력이 개선되고 있어 시장 기회 및 선점 가능하나, 대규모 선행투자가 필요한데 반해 수익성을 담보할 수 없다는 위험이 존재함

S Strengths

1) 탈탄소화 노력

- 넷제로 배출 목표 달성의 핵심 솔루션으로 청정 수소 대두
- 철강, 시멘트, 화학, 운송 등 여러 산업 분야에서 청정 수소 도입 증가, 이에 따라 주요 경제 강국의 수소 인프라 및 기술 투자 증가

2) 정부 지원 및 정책 확대

- 미국: 인플레이션 감축법을 통한 세금 감면 정책
- 유럽: EU 수소 전략을 통한 전해조 용량 확대 목표 설정

3) 철강, 화학, 운송 등 다양한 산업 분야 활용 가능

- 저탄소 정책으로 인해 다양한 산업분야에서 그린인증 의무화당이 예고되고 있음

W Weaknesses

1) 수전해 장치 및 재생 가능 에너지 의존

- 전기 분해 공정에서 활용되는 수전해 장치는 제조 비용이 높고, 생산과정에서 많은 전력 소모
- 생산 과정에서 재생 가능 에너지를 활용하는 경우, 에너지 공급 불안정으로 인한 생산 규모 제한 가능성이 높으며, 규모의 경제(평균비용 감소 현상)를 실현하기 어려워 질 수 있음

2) 운송, 저장, 충전 등을 위한 인프라 부족

- 수소는 천연가스보다 부피 당 에너지 밀도가 낮음
- 저장·운송 과정에서 다른 화합물로의 변환, 고압 저장 탱크 사용 등의 단계를 거쳐야 함

3) 한국 정부의 비교적 부족한 정부 지원

- 한국의 주요 경쟁국이 철강 탈탄소화를 추진하며, 국내 철강산업 경쟁력이 약화될 위기에 처해 있음

O Opportunities

1) 재생 가능 에너지 생산 비용 감소 및 안정성 확보

- 관련 기술 발전, 보급 증가, 규모의 경제 등의 요인으로 인해 재생 가능 전기의 전력 단위당 평균 비용(LCOE : Levelized Cost of Electricity)이 감소 추세에 있음

2) 수소 인프라 투자 및 개발 확대

- 파이프라인, 저장 시설, 충전소 건설에 대한 대규모 투자 및 차세대 솔루션 개발 착수

3) 청정 수소 관련 이니셔티브 증가

- 청정 수소 도입과 관련한 각종 정책, 로드맵 구축 및 대규모 투자 진행 중

T Threats

1) 정책 및 시장 조건의 변화로 인한 시장 불확실성

- 대규모 수소 생산, 운송 및 저장 인프라 개발에는 큰 규모의 선행 투자가 필요하지만, 정책 및 시장 조건의 변화로 인해 수익성에 대한 불확실성이 존재
- 각국 정부 및 국제 사회의 장기적인 정책 일관성이 유지되지 않으면 시장 신뢰를 지속하기 어려움

2) 지정학적 위험

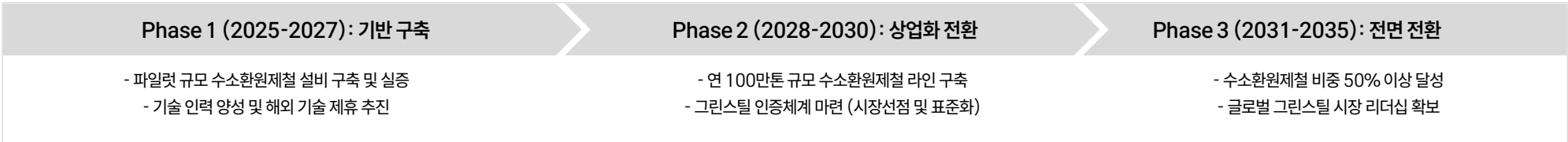
- 수전해 장치 및 연료 전지용 희토류 등 수소 생산의 핵심 부품과 소재가 특정 지역에 집중되어 있어 공급망이 지정학적 긴장에 취약함

7. 철강산업의 청정수소 전환 필요성

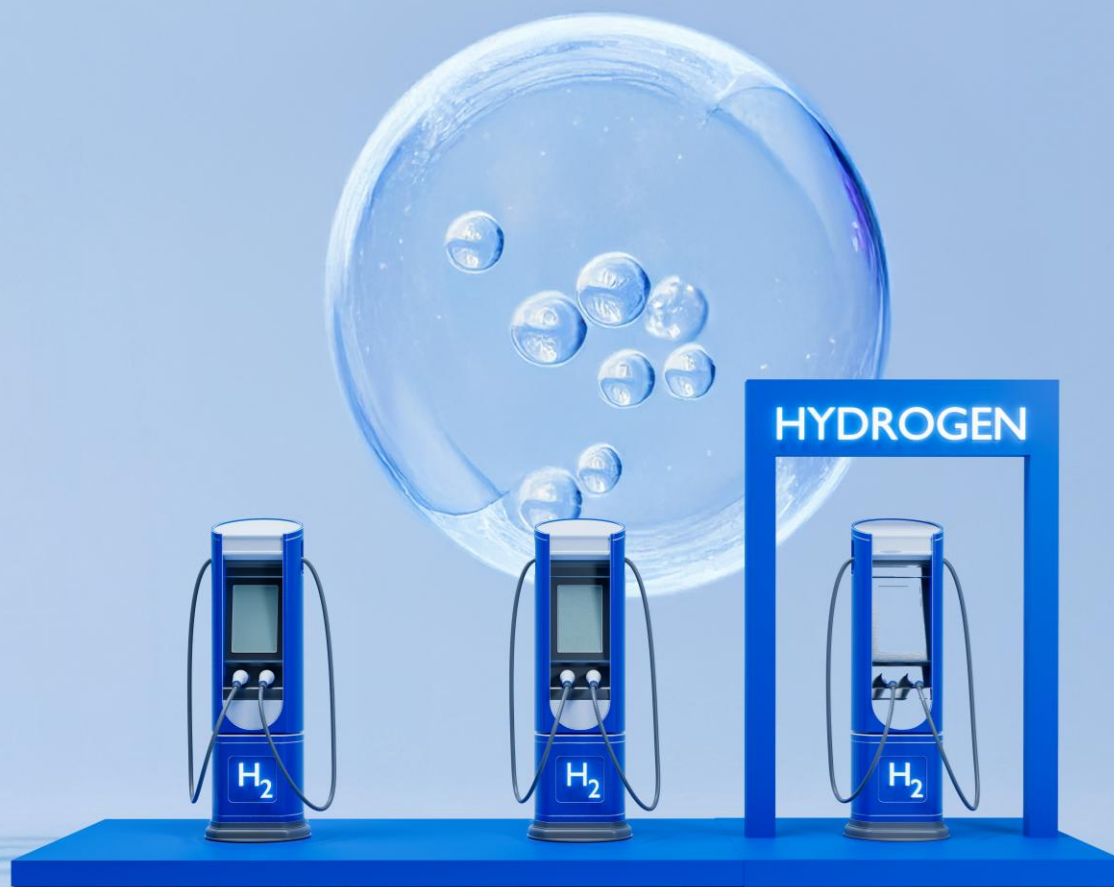
POSCO 철강산업의 청정수소 전환 필요성

- 철강산업은 전 세계 CO₂ 배출량의 7-8%를 차지하는 탄소집약 산업으로 EU CBAM(탄소국경조정제도), 탄소중립 2050 등 규제 대응 방안이 필요함
- 주요국들의 탄소세·배출권거래제(ETS)와 같은 수출규제 강화로, 저탄소 철강 생산이 철강 산업 경쟁력의 핵심이 될 것 → 청정수소 없이 탄소중립 달성은 어려울 것
- HyREX(유동환원로), Shaft 환원로 등 친환경 철강산업을 위해 청정수소 기반의 환원 공법 개발 및 상용화를 위한 투자가 전세계적으로 지속되고 있음

S Strengths	W Weaknesses	O Opportunities	T Threats
<p>1) 철강 생산 기술적 기반 보유</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 제철 공정 노하우와 인프라 활용 가능 - 수소환원제철(HyREX) 등 독자 기술 개발 진행 - 대규모 생산 설비 운영 경험 풍부 위해 대규모 투자 지속 <p>2) 안정적인 글로벌 시장 지위 확보</p> <ul style="list-style-type: none"> - 글로벌 철강 시장에서 POSCO 제품의 우수성에 대한 기술력 및 신뢰도 인정 - 주요 고객사와의 장기 공급 관계 구축 등 안정적인 자체 공급망 및 시장지위 보유 <p>3) 정부의 정책적인 지원 활용 가능</p> <ul style="list-style-type: none"> - 청정수소인증제 및 CHPS (청정수소발전의무화) 제도 활용 - 녹색금융 및 세제 혜택 수혜 가능 	<p>1) 높은 장비/장치 전환 비용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 초기 투자비 약 40조원 이상 필요 예상 - 생산 단가 20-30% 상승 불가피 → 세액공제, 정책보조금 등의 정책적인 보조 필수 - 장비 유지 보수 비용에 대한 예측이 어려우며, 투자 회수 기간이 장기화 될 수 있음 <p>2) 청정수소 분야 기술성숙도 부족</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수소에 대한 상업화 실적이 부족한 상황으로 리스크 존재 - 수소 분야에 대한 전문인력의 부족 <p>3) 한국 국내 시장의 수소 인프라 미비</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국내 청정수소 공급량은 일부 지역에만 존재하며, 저장·운송 관련 인프라가 미흡함 	<p>1) 글로벌 규제 환경 강화</p> <ul style="list-style-type: none"> - 글로벌 탄소중립 정책 확산, EU CBAM 2026년 시행으로 청정철강 수요 급증 - ESG 투자 확대 등 미래형 저탄소 공정에 대한 투자자/소비자 관심 급증 <p>2) 수소 환원 제철 시장의 높은 성장 잠재력</p> <ul style="list-style-type: none"> - 완성차 업체, 건설 업체 등 그린 스틸 사용 의무화 → 그린스틸 프리미엄 시장 형성 가능 - 2030년 글로벌 청정수소 시장 960억 달러 전망 등, 청정수소 시장 자체도 높은 성장세 기록 <p>3) 청정 수소 관련 기술 발전 가속화</p> <ul style="list-style-type: none"> - 청정수소 생산관련 신기술 발전 가속화 → 수소 생산 단가의 지속적 하락 가능 	<p>1) 글로벌 경쟁 심화 및 전환 실패 리스크 존재</p> <ul style="list-style-type: none"> - EU, 일본 철강사의 선제적 투자로 기술 격차 확대 → 기술 상용화 지연 시 시장 퇴출 위험 - 중국의 대규모 투자로 가격 경쟁력 위협 → 기존 고객 이탈 가능성 <p>2) 시장 및 정책 불확실성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수소가격 변동 리스크 높음 → 청정수소 외의 친환경에너지 분야 기술 발전 가능성 존재 - 대규모 정책기반의 가격 인센티브, 규제강화, 에너지 정책 등 종합적 보완이 병행되어야 함



Appendix

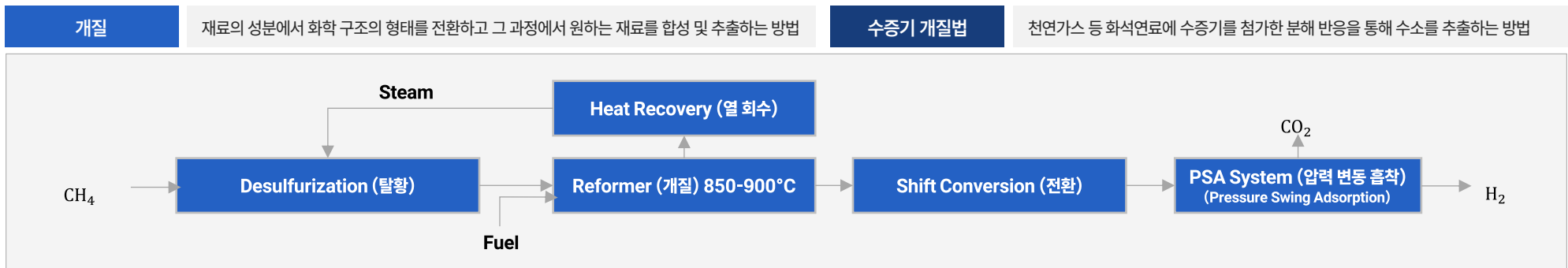


1. Hydrogen Council, McKinsey & Company. (2024). 'Hydrogen Insights 2024'
2. IEA. (2019). 'The Future of Hydrogen'
3. 수소전주기 기술 및 정책 동향 분석 (POSCO HOLDINGS Seminar)
4. 손영준. (2019). '전문가 연재 신재생에너지의 현재와 미래'. 기계저널
5. 강상규, '수전해 기본 원리 및 개발 현황' POSCO 홀딩스 교육/세미나(2022)
6. 임지훈 & 장현숙, (2023), 수소산업 경쟁력 강화를 위한 정책 연구 : 수소 저장 운송 산업 육성 현황과 정책과제', 한국무역협회 Trade Focus 2023년 14호
7. 에너지경제연구원, (2019), '수소 저장·운송 기술 개요 및 현황'
8. 신영기 외 2명, (2008), 'Reverse Brayton 사이클과 Claude 사이클 기반 LNG 재액화 공정의 동특성 운전성능 비교', 설비공학논문집
9. 노상균, (2022), 'Linde, Claude 및 Advanced 사이클을 이용한 질소액화공정 연구', 한국수소및신에너지학회논문집
10. 한국공업화학회, (2019), '미래 수소 에너지 공급 산업에서 암모니아의 활용성'
11. POSCO NEWSROOM', (2022), 포스코 HyREX 수소환원제철 기술 심층 소개
12. 에너지경제연구원, (2019), 수소경제 시대의 연료전지 역할 및 현황'
13. AIR PRODUCTS. (2024). 'GENERATING A CLEANER FUTURE Sustainability Report 2024'
14. Linde. (2023). 'A company for All Seasons Annual Report 2023'
15. Siemens Energy. (2024). 'Focusing on resilience Sustainability Report 2024'
16. Nel ASA. (2023). 'Nel ASA: Annual Report 2023'
17. SSAB. (2023). 'Transforming the future of steel Annual Report 2023'
18. Nipponsteel. (2023). 'Nippon Steel Sustainability Report 2023'
19. ArcelorMittal. (2023). 'Integrated Annual Review 2023'
20. IMARC. (2025). 'Green Hydrogen Market Size, Share, Trends and Forecast by Technology, Application, Distribution Channel, and Region, 2025-2033'
21. IMARC. (2025). 'Blue Hydrogen Market Size, Share, Trends and Forecast by Technology, End User, and Region, 2025-2033'
22. Lucintel. (2025). 'Turquoise Hydrogen Market Report: Trends, Forecast and Competitive Analysis to 2030'
23. 허예진. 글로벌 수소 수급 및 정책 동향 2024(IEA). 세계 에너지시장 인사이트 제24-22호(2024)
24. Hydrogen Council, McKinsey & Company. (2023). 'Hydrogen Insights 2023'
25. 신중원, (2022) '수소 모빌리티용 수소 저장 용기', 한국과학기술정보연구원
26. 김기봉 외 2인 (2025) 수소경제 달성을 위한 수소 운송·저장 기술주권 확보 전략, 한국과학기술기획평가원(KISTEP)

○ [블루 수소] 천연가스(Natural Gas) 개질 (수증기 개질, Steam Methane Reforming)

- 블루 수소는 주로 천연가스(주성분: CH₄)를 원료로 수증기와 반응시켜 수소를 생산하고, 이 과정에서 발생하는 CO₂를 포집·전환·저장함으로써 외부에 탄소배출을 최소화
- NG 수증기 개질 공정은 수증기와 반응시켜 수소를 생산하는 주반응 (CH₄ + H₂O → CO + 3H₂) 및 부가 생성된 CO에 수증기를 첨가하여 추가적으로 수소를 생산하는 수성화반응(Water Gas Shift: CO + H₂O → CO₂ + H₂)으로 구성 (전체반응: CH₄ + 2H₂O → 4H₂ + CO₂)

○ 천연가스 개질



○ 천연가스 개질을 통한 블루 수소 생산 프로세스

개질 과정	$\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 4\text{H}_2, \Delta H = +49.7\text{kcal/mol}$
탈황	탈황기를 거쳐 천연가스에 포함되어 있는 미량의 불순물 (ex. 천연가스 내 포함된 미량의 황 불순물을 탈황기를 통해 일정 농도 이하로 낮추는 단계)
주반응	개질 반응을 통해 수소와 일산화탄소로 구성된 합성가스(Syngas)로 전환 개질 반응에서 부산물로 생성되는 일산화탄소는 수소가 필요한 많은 화학반응에서 불순물로 작용, 촉매의 성능을 급격히 저하시킴 → 연료 전지와 같이 고순도 수소가 필요한 곳에 사용하기에는 한계 有
부반응	주반응에서 생성된 일산화탄소를 다시 수증기와 반응을 유도하여 일산화탄소를 이산화탄소로 전환하는 수성가스 전이 과정으로, 이 과정에서 수소를 한 번 더 추출해 보다 농도가 높은 수소를 생산함

○ [청록 수소] 열 분해

- 청록 수소는 열분해 반응을 이용하여 화석연료(천연가스 등)를 직접 분해하여 생산됨
- 천연가스 열 분해 공정은 열원과 촉매 사용 여부에 따라 플라즈마 열분해, 촉매 열분해, 비촉매 열분해, 플라즈마 열분해 등으로 구분할 수 있음

◆ 천연가스 열 분해를 통한 청록 수소 공정 원리

- 천연가스 열 분해 공정: 1,000~1,500°C 온도에서 천연가스의 주성분인 메탄 등을 수소와 탄소로 분리하는 방법
- 천연가스 열 분해는 흡열 과정으로, C—H 결합이 강하기 때문에 촉매 없이 분해 시키려면 1,200°C 이상의 높은 열이 필요함
- 천연가스 열 분해 과정: $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2$, $\Delta H_0 = +75.6\text{kJ/mol}$
- 블루 수소와 달리 이용 원료로 천연가스만 사용하여 부산물로 이산화탄소가 아닌 고체 탄소를 얻음

○ 천연가스 열 분해 분류

	온도	촉매 사용	특징
비촉매 열분해	1,000~1,500°C	X	<ul style="list-style-type: none"> • 단순히 고온에서 메탄을 분해하는 방식으로 공정이 간단
촉매 열분해	1,000°C 이하	O	<ul style="list-style-type: none"> • 촉매를 통해 (비촉매 열분해 대비) 반응 온도를 낮출 수 있음 • 반응기 및 촉매의 종류에 따라 카본블랙, graphite, carbon nano-tube 등 다양한 형태의 부산물 생산하며, 이를 고 부가화 하기 위해 다양한 R&D가 수행되고 있음.
플라즈마 열분해	1,000~2,100°C	X	<ul style="list-style-type: none"> • 높은 온도에 의해 메탄 전환율이 94% 확보되기 때문에 • 상대적으로 적은 메탄 공급으로 많은 양의 수소생산이 가능하지만, 높은 온도를 위해 전력소모가 큰 단점이 있음.

○ [그린 수소, 핑크 수소, 퍼플 수소] 수전해 (전기 분해)

- 그린/핑크 수소는 전기분해 공정을 통해 생산되며, 물을 분해하여 부산물로 수소와 산소를 배출함
- 전기분해 (수전해) 공정은 전해질로 쓰이는 물질에 따라 알칼라인 수전해 (AWE), 음이온교환막 수전해 (AEMWE), 고분자전해질 수전해 (PEMEC), 고체산화물 수전해 (SOEC)로 구분할 수 있음

1 수전해 프로세스

- 수전해 공정: 물의 이온화에 활용되는 전해질에 전력을 공급하여 수소와 산소로 전기 분해하는 방법
- 수전해 프로세스에 필요한 전력을 태양광, 풍력 에너지 등 재생에너지를 통해 공급할 경우 이산화탄소 배출이 없는 완전한 그린 수소 생산 가능

2 사용 전해질에 따른 수전해 분류

수전해 방식	사용 전해질	작동 온도	특징
알칼라인	알칼리 전해액 (KOH, NaOH)	50~80°C	<ul style="list-style-type: none"> • 가장 상용화된 기술 • 저렴한 비귀금속 촉매를 사용하여 대량 생산에 적합 • 고농도 전해액 유지 필요 • 부식 문제 발생 가능 • 재생전력 연계 수소생산기술의 고도화 필요
고분자전해질막	고분자 전해질막 (Nafion 등)	50~80°C	<ul style="list-style-type: none"> • 빠른 시동 시간 • 높은 수소 순도 • 고가의 백금 촉매 필요 • 전해질막 단가 높음 • 알칼라인 수전해 대비 재생전력 연계가 용이할 것으로 예상.
음이온교환막	음이온 교환막	50~80°C	<ul style="list-style-type: none"> • 비귀금속 촉매 사용 가능 • 알칼라인과 PEM의 장점 결합 가능 • 기술 개발 초기 단계로 상용화 미흡
고체산화물	고체산화물 전해질	600~800°C	<ul style="list-style-type: none"> • 높은 에너지 효율 • 부식 문제 없음 • 추가 전해액 보충 불필요 • 고온 유지 필요

○ 청정수소 시장 성장 요인

- 넷제로(Net-Zero) 배출 목표 달성을 위한 글로벌 탈탄소화 움직임은 철강, 화학, 운송 등의 산업에서 청정수소 수요 확대를 견인함
- 정부 정책 지원 및 기술 투자 확대로 수소 인프라 및 실증 프로젝트가 본격화되고 있음

○ 청정수소 시장 성장 요인 : 세부 항목 구분

항목	내용
탈탄소화 노력	전 세계 정부와 산업계는 넷제로(Net-Zero) 배출 목표 달성을 위해 청정 수소를 핵심 솔루션으로 삼고 있음
	철강, 시멘트, 화학, 운송 등에서 청정수소 도입이 증가하여, 주요 경제 강국의 수소 인프라 및 기술 투자가 증가함
정부 지원 및 정책	미국 : 인플레이션 감축법(Inflation Reduction Act)를 통해 수소 생산에 대한 대규모 세금 감면 정책을 제공
	유럽 : EU 수소 전략(EU Hydrogen Strategy)을 세우고, 전해조 용량 확대 및 수소 인프라 통합을 위한 목표 설정
	일본, 한국, 호주 : 각 국가 수소 로드맵을 발표하고, 이를 바탕으로 R&D 및 실증 프로젝트에 자금 지원
다양한 활용 분야	철강 산업 : 직접 환원 철(DRI) 공정에서 석탄을 대체하여 탄소 배출 감소
	화학 산업 : 비료, 산업용 화학물질로 활용되는 암모니아, 메탄올 생산에 필수적
	운송 산업 : 대형 트럭, 버스, 기차, 항공기에서의 수소 연료 전지(Fuel Cell) 활용

○ 청정수소 시장 제약 요인

- 생산 과정에서 쓰이는 수전해 장치는 높은 제조 비용과 전력 사용량을, 재생 가능 에너지 의존은 생산 규모를 제한하며, 운송, 저장, 충전 등을 위한 인프라가 부족함
- 한국의 경우엔 다른 선진국 대비 부족한 정부 지원의 문제가 존재

○ 청정수소 시장 제약 요인 : 세부 항목 구분

항목	내용
수전해 장치 및 재생 가능 에너지 의존	전기 분해 공정에서 활용되는 수전해 장치는 제조 비용이 높고, 생산과정에서 많은 전력을 소모하는 문제가 있음
	생산 과정에서 재생 가능 에너지를 활용하면서, 그 불안정한 공급으로 생산 규모가 제한되어 규모의 경제를 실현 어려움
운송, 저장, 충전 등을 위한 인프라 부족	운송 : 천연가스보다 부피 당 에너지 밀도가 낮은 수소는 효과적 운송을 위해 배관, 고압 저장 탱크 등을 활용해야함
	저장 : 효과적 저장을 위해 수소를 압축, 액화 혹은 암모니아와 같은 화합물로 변환해야함
	충전 : 수소 충전소 보급 부족으로, 수소 연료전지를 활용하는 대형 운송 수단 도입이 어려움
한국 정부의 비교적 부족한 정부 지원	한국의 주요 경쟁국이 철강 탈탄소화를 추진하며, 국내 철강산업이 비교적 경쟁력이 약화될 위기에 처해 있음
	포스코에 따르면 2050년까지 탄소중립 이행으로의 전환 비용이 약 40조 원으로 추산됨
	하지만 현재까지 확정된 한국 정부 지원금은 약 2685억원으로 다른 국가와 비교했을 때 매우 낮은 수치

○ 청정수소 시장 기회 요인

- 재생 가능 전기 생산 비용 감소 및 안정적인 공급을 통해 청정 수소의 가격 경쟁력 향상
- 산업 전반에 수소 에너지를 도입하기 위해 필요한 수소 인프라 투자 및 개발이 확대되는 추세로 국제 사회, 국가, 기업 차원에서의 청정 수소 관련 이니셔티브 및 협력 증가세

○ 청정수소 시장 기회 요인 : 세부 항목 구분

항목	내용
재생 가능 에너지 생산 비용 감소 및 안정성 확보	재생 가능 전기는 그린 수소 생산의 에너지원으로 사용되므로, 안정적이고 저렴한 재생 가능 전기 공급을 통해 전체적인 수소 생산 비용 감축 가능
	관련 기술 발전, 보급 증가, 규모의 경제 등의 요인으로 인해 재생 가능 전기의 전력 단위당 평균 비용(LCOE)이 감소하는 추세에 있음
수소 인프라 투자 및 개발 확대	파이프라인, 저장 시설, 충전소 건설에 대한 대규모 투자
	청정수소 운송 단계에서 가격 경쟁력이 낮은 트럭 운송이나 액화 과정에 대한 의존도를 줄일 수 있음
	청정수소 저장 및 운송 시 저에너지 밀도를 보완하기 위한 지하 소금 동굴 및 고압 탱크와 같은 차세대 저장 솔루션 개발
청정 수소 관련 이니셔티브 증가	국제 사회, 국가, 기업 차원에서 탄소 배출 감소, 친환경 에너지원로의 전환을 추진
	청정 수소 도입과 관련한 각종 정책, 로드맵 구축 및 대규모 투자 진행 중

○ 청정수소 시장 위험 요인

- 청정수소 시장에 진입하기 위해서는 인프라 개발을 위한 대규모 선행 투자가 필요하나, 정책 및 시장 조건의 변화로 인한 시장 불확실성이 존재하여 수익성을 담보할 수 없음
- 청정 수소의 원재료 조달 및 수출 단계에서 지정학적 위협에 취약함

○ 청정수소 시장 위험 요인 : 세부 항목 구분

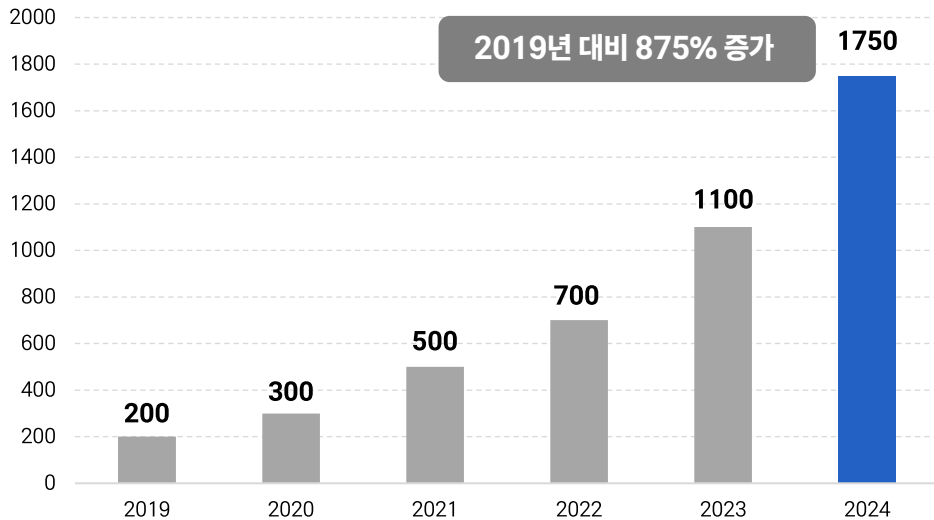
항목	내용
정책 및 시장 조건의 변화로 인한 시장 불확실성	대규모 수소 생산, 운송 및 저장 인프라 개발에는 큰 규모의 선행 투자가 필요하지만, 정책 및 시장 조건의 변화로 인해 수익성에 대한 불확실성이 존재
	각국 정부 및 국제 사회의 장기적인 정책 일관성이 유지되지 않으면 시장 신뢰를 지속하기 어려움
	에너지 전환 추세가 지속되더라도 배터리 저장 및 바이오 연료 등의 저탄소 기술이 대체제로 존재하여, 청정 수소의 역할과 성장 가능성에 대한 불확실성 확대
지정학적 위험	수전해 장치 및 연료 전지용 희토류 등 수소 생산의 핵심 부품과 소재가 특정 지역에 집중되어 있어 공급망이 지정학적 긴장에 취약함
	호주 및 중동과 같이 수출 의존도가 높은 수소 전략을 가진 국가들은 무역 제한, 관세, 외교 분쟁 등의 영향을 받을 수 있음
	액화 수소 또는 암모니아 기반 수소 운송의 경우, 안정적인 해상 운송 경로에 의존해야 함 → 지정학적 분쟁이 시장에 미치는 영향이 클 수 있음

지역 별 전해조 설치 용량 분석

- 글로벌 전해조 설치 용량은 지난 2019년 0.2GW에서 2024년 5월 기준 1.75GW로 증가하였으며, 중국이 1.15GW로 높은 점유율을 자랑하고 있음
- 중국은 알칼라인 기술을 중심으로, 북미, 유럽 지역에서는 PEM(고분자 전해질막 수전해 : Proton Exchange Membrane Water Electrolysis) 기술을 중심으로 활용

1 글로벌 전해조 용량 성장세

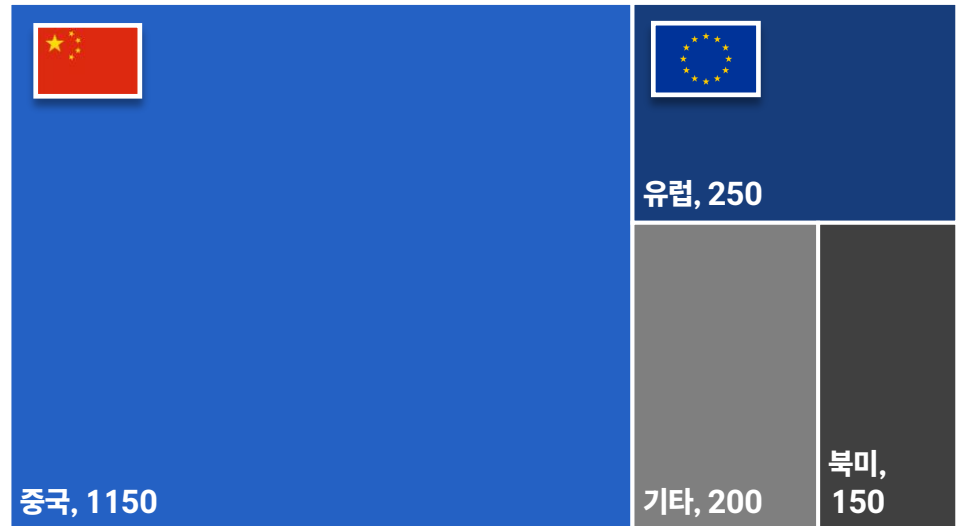
(단위 : MW)



- '24년 글로벌 전해조 용량은 1750MW 급으로 '19년 대비 약 8.75배 증가하였음.
- '24년 말에서 '25년초에 최대 5000MW 까지 수소 전해조 용량이 성장할 수 있을 것으로 전망되고 있으며, 전해조 제조 능력은 23년 약 25GW/연에서 25년 48GW/연 까지 상승할 것으로 예상됨.
- 전해조와 함께 연결되는 수소 운송 파이프라인을 고려할 때, 안정적인 시장 확장이 예상됨

2 지역별 전해조 용량 분포

(단위 : MW)



- 각국 정부의 적극적인 탈탄소 정책과 2050년 탄소중립 목표에 따라, 지역별 전해조 설치가 증가하고 있음
- 중국은 전체 전해조 제조 능력의 60%를 차지하며, 시장을 선도하고 있으며, 철강, 화학, 운송 등의 산업집약도가 높은 지역의 설치가 증가 하고 있음.
- 지역별 인허가, 투자지원, 표준화 등이 전해조 시장의 발전방향을 가능할 것으로 보여지며, 대용량의 전해조 생산을 위한 내구성 확보 및 생산 원가 절감 등 기술력 확보가 시장 경쟁의 핵심이 될 것으로 전망됨.

○ 한국 H₂ 비즈니스 서밋

기업 (한국)	역할	최근 5년간 청정수소 투자 규모	주요 수소 프로젝트 / 이니셔티브
POSCO 그룹	생산·활용 (철강)	2030년까지 수소·그린강·배터리 소재에 121조 원(≈930억 달러) 투자 목표; 50만톤/년 수소 생산 계획.	2026년 국내 첫 H ₂ 환원 제철소(HyREX) 건설; 50MW 수소 발전소; 호주·중동 그린 수소 해외 사업.
SK 그룹	생산 (블루·그린 수소)	2021-25년 18.5조 원(≈165억 달러) 투자, 세계 최대 청정수소 허브(25만톤/년) 구축.	인천 액화수소 공장(2024년 완공); 전국 수소 충전소; Plug Power 지분 투자(15억 달러); 인천 블루 수소 CCS 프로젝트.
현대자동차 그룹	활용 (연료전지 모빌리티)	2023년까지 1.3조 원(≈11억 달러) 투자, 현대모비스 수소 시스템 공장 2곳 건설.	700kW 연료전지 시스템 대량 생산(HTWO); 스위스 45톤 수소 트럭 배치; UAM·수소열차 개발.
한화 그룹	생산 (그린 수소·암모니아)	한화솔루션 전해조, 한화임팩트 암모니아 운송에 1조 원 이상 투자.	2030년까지 5GW 태양광 기반 수소 생산; 미국 KBR과 214TPD 암모니아 분해 플랜트; 해상 그린 수소 실증.
효성	저장·인프라	2020-22년 Linde와 3,000억 원(≈2.5억 달러) 합작법인을 설립하고 세계 최대 액화수소 플랜트 건설(2023년 완공).	울산 30톤/일 액화수소 설비 운영; 전국 액화수소 충전소; 차량용 탄소섬유 수소 탱크 생산.

○ 유럽 청정수소 동맹(ECHA)

기업 (유럽)	역할	최근 5년간 청정수소 투자 규모	주요 수소 프로젝트 / 이니셔티브
Shell (네덜란드/영국)	생산 (그린·블루 수소)	2023-25년간 저탄소 에너지(수소 포함)에 100-150억 달러 투자 예정.	200MW Holland Hydrogen I 전해조 개발(건설 중) ; EU 수소 충전소 네트워크 확대.
TotalEnergies (프랑스)	생산 (그린 수소)	2024년 4억 달러 규모 일본 수소 펀드에 투자.	프랑스 MassHyllia 40MW 그린 수소 프로젝트 ; 오만·호주 등 글로벌 수소 프로젝트 추진.
Air Liquide (프랑스)	생산·저장	2035년까지 수소 공급망에 80억 유로 투자 계획 (2022-25년 자본 지출의 절반).	캐나다 20MW 전해조 플랜트 건설 ; 유럽 전역 액화·유통 허브 및 충전소 투자.
Linde (영국/독일)	생산 (블루 수소)	2023년 텍사스 블루 수소 프로젝트에 18억 달러 투자 발표.	세계 최대 ATR 블루 수소 플랜트 건설(연간 170만톤 CO ₂ 포집) ; BP·BASF·Airbus와 협력 사업.
Siemens Energy (독일)	생산 (전해조 제조)	2025년까지 EU 전해조 용량 10배 확대 서약(CEOs 20인) 주도.	2025년까지 연간 17.5GW 전해조 제조 역량 확보 ; 수소 가스터빈 개발.
ArcelorMittal (룩셈부르크)	활용 (철강)	2030년까지 프랑스 제철소 수소 DRI에 17억 유로 투자 계획.	Dunkirk 250만톤/년 DRI 설비 건설(석탄 대신 수소 사용, CO ₂ 40% 감축) ; 스페인·독일 파일럿 프로젝트.
Alstom (프랑스)	활용 (운송)	2024-26년 이탈리아 수소 열차 생산·시험에 6,300만 유로 투자.	세계 최초 수소 연료전지 여객열차 Coradia iLint(2022년 독일 운행) 개발 ; 이탈리아·프랑스 수주 확보.
Bosch (독일)	활용 (모빌리티)	2021-24년 수소 연료전지 기술에 10억 유로 투자. 고정형 연료전지에 4억 유로 추가 투자.	Nikola와 트럭용 연료전지 파워트레인 개발 ; 고정형 SOFC 발전 시스템 상용화.

북미 : 수소 협회 및 이니셔티브

기업 (북미)	역할	최근 5년간 청정수소 투자 규모	주요 수소 프로젝트 / 이니셔티브
Air Products (미국)	생산 (그린·블루 수소)	2018-2027년 150억 달러 규모 청정수소 메가 프로젝트 투자.	사우디 NEOM 그린 암모니아 프로젝트(50억 달러 참여) ; 루이지애나 블루 수소 단지(45억 달러); 알버타 넷제로 수소 콤플렉스.
Chevron (미국)	생산 (블루·그린 수소)	2028년까지 그린·블루 수소에 25억 달러 투자 예정.	토요타와 캘리포니아 수소 충전 허브 개발 ; 미국 걸프 코스트 블루 수소 허브 기획.
ExxonMobil (미국)	생산 (블루 수소)	베이트اون 프로젝트에 70억 달러 투자 계획 (2024년 FID 예정).	일일 1Bcf 생산, 연간 170만톤 암모니아·수소 생산(98% CO ₂ 포집); ADNOC와 휴스턴 CCS 협력 진행.
Plug Power (미국)	생산·활용 (연료전지)	2021년 50억 달러 자금 조달. 2025년까지 일일 500톤 그린 수소 생산 목표.	뉴욕·조지아·루이지애나 그린 수소 공장 건설 ; 아마존·월마트용 물류·지게차 연료전지 공급; 수소 트럭 개발.
Cummins (미국)	활용 (연료전지·수소 엔진)	2019년 Hydrogenics 인수(2.9억 달러) ; 미·유럽 연료전지 공장 투자.	스페인 전해조 공장, Daimler와 연료전지 합작사 Cellcentric ; 15L 수소 내연기관 개발.
Ballard Power (캐나다)	활용 (연료전지)	2023년 중국 연료전지 스택 공장 개소 ; 연간 R&D 약 1.3억 달러.	전세계 버스·트럭 연료전지 모듈 공급 ; 유럽 200대 이상 연료전지 버스 파트너십.

○ 일본 수소 협회 (JH₂A)

기업 (일본)	역할	최근 5년간 청정수소 투자 규모	주요 수소 프로젝트 / 이니셔티브
Toyota (자동차)	활용 (연료전지 모빌리티)	2024년 일본 수소 펀드에 4억 달러 투자 참여 ; 차세대 Mirai 출시 투자.	Hino-Isuzu와 대형 수소 트럭 개발; 도쿄 환경 대중교통용 버스·차량 100대 이상 배치; 수소 스마트시티 '우븐 시티'.
Iwatani (가스 공급)	생산·저장 (수소 공급)	2023-27년 1.78조 엔 (≈12.5억 달러) 투자, 2030년까지 30만톤/년 생산 목표.	일본 내 20여 개 수소 충전소 운영; 고베 액화수소 플랜트 건설; 그린 암모니아 수입→수소 전환.
Mitsubishi (상사·산업)	생산 (수소·암모니아)	호주·미국(유타) 그린 수소 프로젝트 지분 투자 ; HYSTRA 공급망 실증 프로젝트 주도.	오만 50만톤/년 그린 암모니아 플랜트; 2027년 암모니아 혼소 발전소 ; 2030년 까지 대규모 수소 수입을 위한 벤처 사업(JH ₂ M) 추진
Eneos (정유)	생산 (그린·블루 수소)	최근 5년간 일본 수소 인프라에 200억 엔 이상 투자 ; 후쿠시마 10MW 전해조, 충전소 증설.	50여 개 수소 충전소 운영 ; 재생에너지 기반 CO ₂ -프리 수소 생산 ; 그린 메탄화·합성연료 기술 개발.
Panasonic (전자)	활용 (주택용 고정형 연료전지)	2009-20년 ENE-FARM(가정용 연료전지 시스템)에 300억 엔 투자 ; 차세대 R&D에 지속 투자(2018-25).	20만 대 이상 ENE-FARM 단지 보급 ; 상업용 순수수소 연료전지 발전기 출시 준비(2025년).