

탈탄소 시대를 위한 미래 에너지의 새로운 대안

수소 사업 전략 수립을 위한 제언



삼일회계법인

Contents

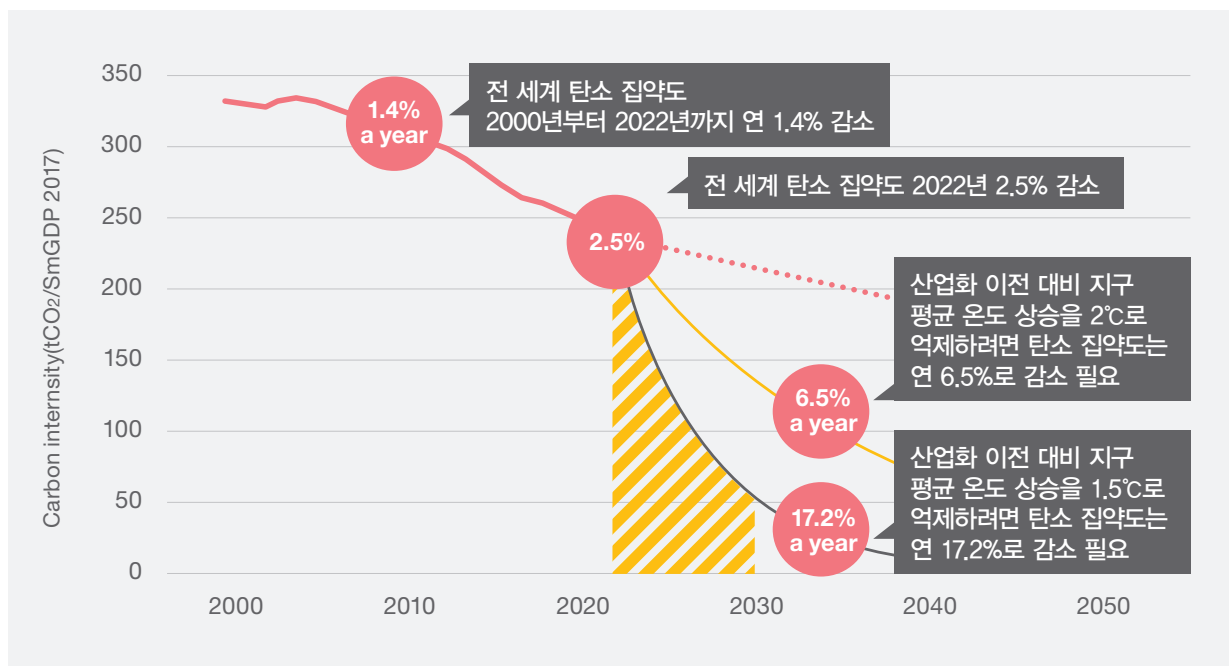
1	탄소 중립과 대안 에너지로서의 수소	1
2	수소 생산 및 운송 방식	6
3	암모니아 크래킹 방식의 특성과 기술적 구현 가능성	11
4	국내 수소시장의 최대 수요처, 발전사업자의 정책 환경	14
5	수소 사업의 밸류체인 구조	20
6	수소 사업의 리스크 요인	29
7	수소 사업 전략을 위한 제언	32
8	수소 사업의 성공을 위해 필요한 전문적인 지원과 자문	35

탄소중립과 대안 에너지로서의 수소

2015년 11월에서 12월까지 열린 제 21차 유엔기후변화협약 당사국 총회(COP21)에서는 195개국 이 모여 파리협정(Paris Agreement)을 맺었다. 이전까지의 글로벌 탄소중립 아젠다는 교토의정서에 따라 38개 선진국이 중심이 되어 온실가스를 감축하는 것에 집중했다면, 파리협정 이후에는 195개 국의 모든 당사국에 적용되며 다루는 주제도 온실가스 감축뿐 아니라, 기술 개발과 이전, 투자, 적응성, 투명성 등 보다 광범위하고 실천적인 범위까지 확장된 개념으로 추진되고 있다. 이는 지금까지의 온실가스 감축 노력이 목표 대비 부진하여 현 추세를 유지한다면 실질적으로 지구 온난화를 막기 어렵다는 국제사회 공통의 인식에 기인한다.

파리협정에서는 모든 당사국의 노력을 통해 산업화 이전 대비 지구 온도를 2°C보다 현저히 낮은 수준으로 유지하고 가급적 1.5°C 수준으로 상승을 억제하는 데 초점을 두고 있으나, 이를 위해서는 현재 수준의 탈탄소율을 2.6배에서 6.9배 수준까지 끌어올려야 하는 등 매우 도전적인 수준의 탈탄소 이행 노력이 필요하다.

그림 1. Net Zero Economy Index 2023

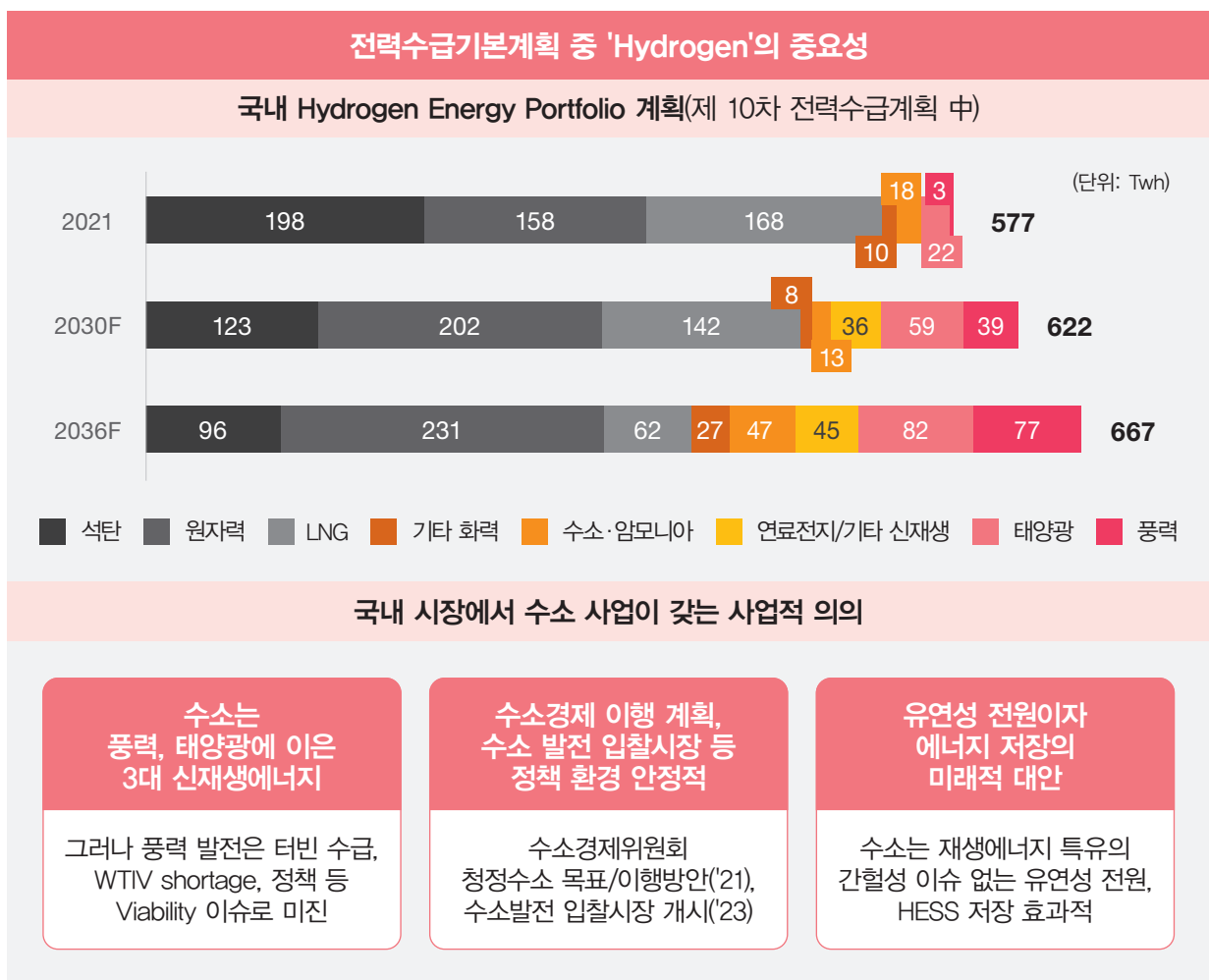


Source: PwC UK

화석연료의 사용을 줄이기 위한 노력은 발전으로부터 철강, 제조, 수송에 이르기까지 매우 광범위한 분야에서 추진되고 있다. 특히 에너지 분야에서는 북유럽 및 서유럽, 미국, 호주, 중국 등을 중심으로 태양광, 풍력 등 재생에너지 분야 투자가 활성화되어 있으며, 영국, 덴마크, 독일 등 일부 국가에서는 해상풍력이 그리드 패러티(Grid Parity, 화석연료와 재생에너지의 발전비용이 같아지는 시점)에 이미 도달하면서 LCOE 관점에서의 경쟁력도 확보되어 점차 보급이 안정화되고 있다. 그러나, 재생에너지만으로 미래 탈탄소 에너지를 공급하는 것은 국가별 자연환경의 차이로 인해 한계가 있다. 그리고, 재생에너지 특유의 간헐성과 에너지의 수송은 이를 더욱 어렵게 하고 있다.

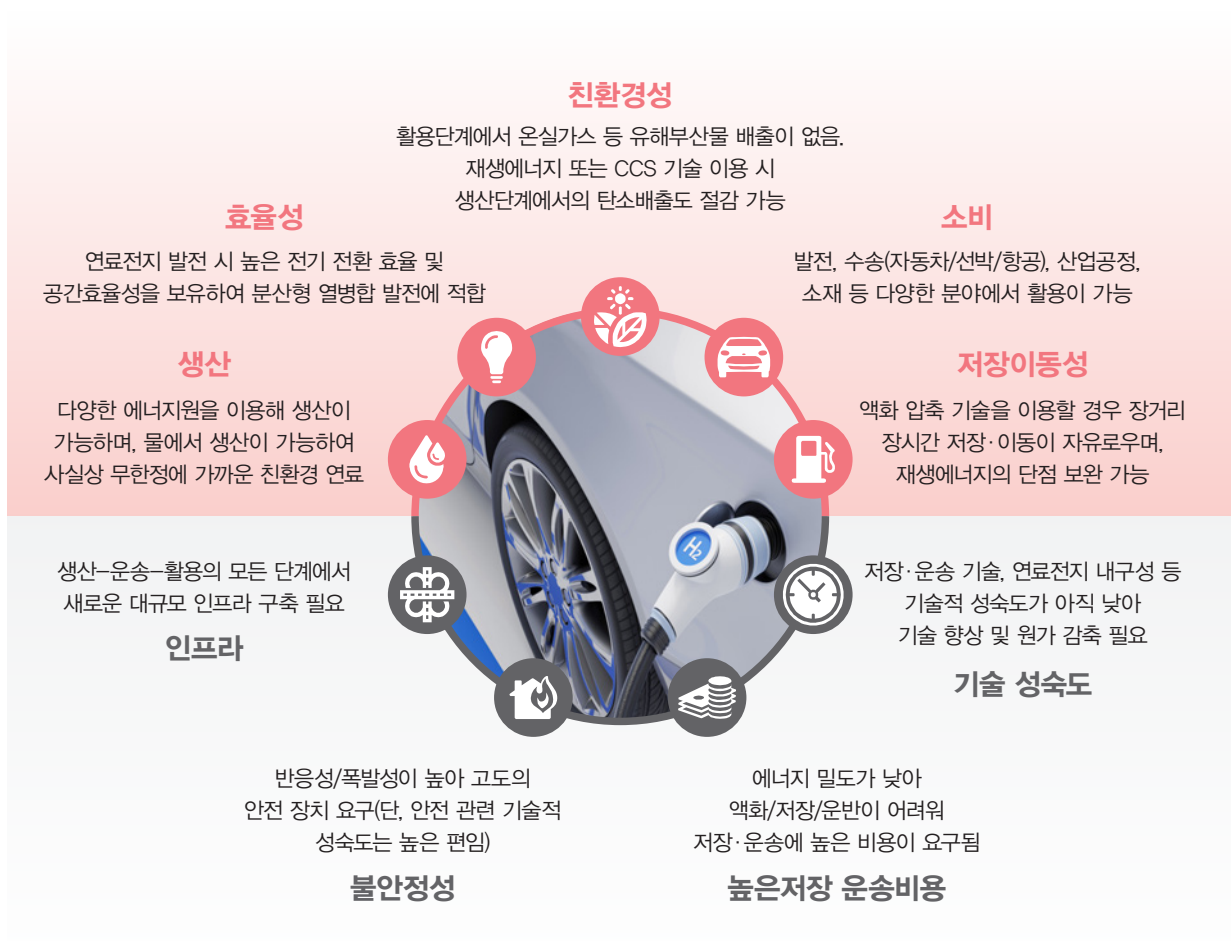
특히 한국은 좁은 국토 면적, 풍황, 전력 계통 등 재생에너지 보급을 위한 입지 환경에도 제약이 있어 수소의 중요성이 더욱 크게 인식되고 있다. 제 10차 전기본에 따르면 2030년 신재생 에너지의 발전량은 21.6%를 목표치로 제시하고 있으나, 태양광의 보급 속도 둔화 및 해상풍력 사업의 지연으로 인해 점차 달성하기 어려운 조건이 되고 있다. 계획보다 더디게 진행되는 재생에너지 보급 한계로 탈탄소를 위한 중요한 에너지원으로서 수소가 부상하고 있는 것이다.

그림 2-1. 미래 에너지원으로서 수소의 중요성



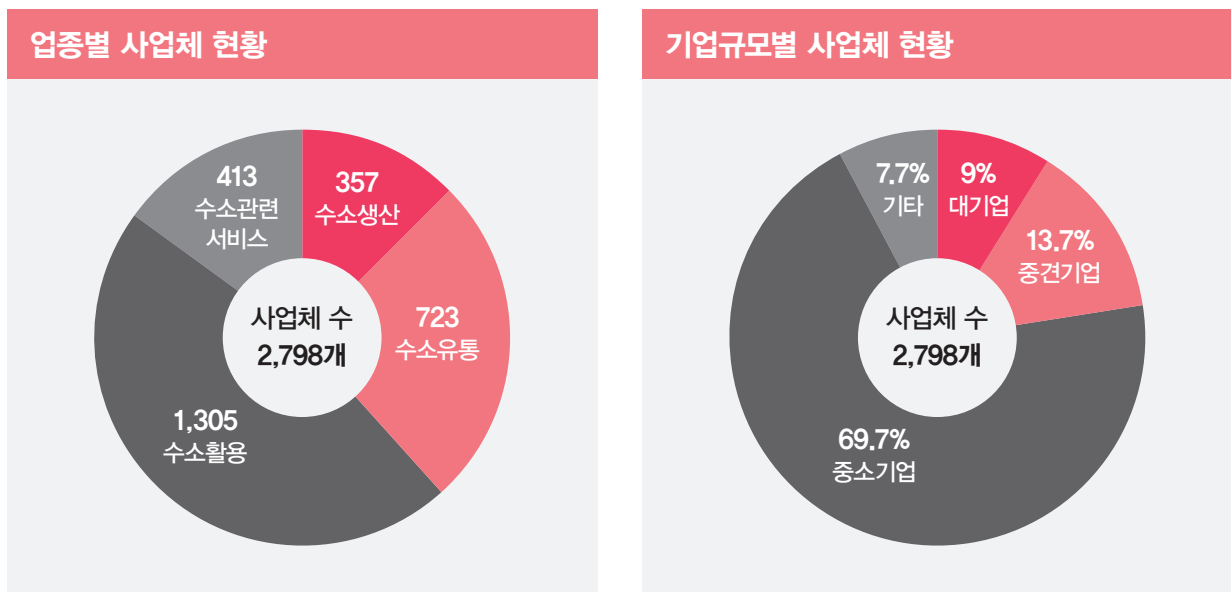
Source: 산업부 제 10차 전력수급기본계획('23.01)

그림 2-2. 수소에너지의 장단점

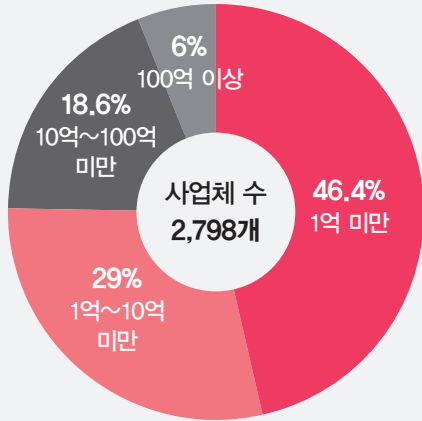


Source: 산업연구원, KB경영연구소

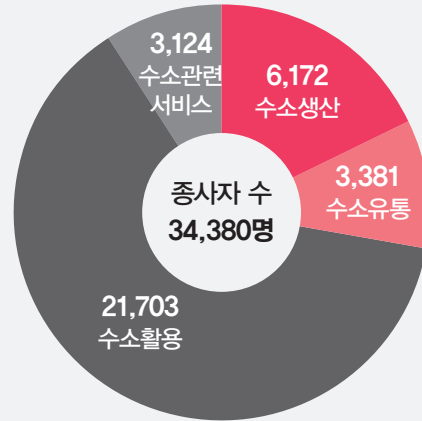
그림 2-3. 국내 수소산업 현황(2022)



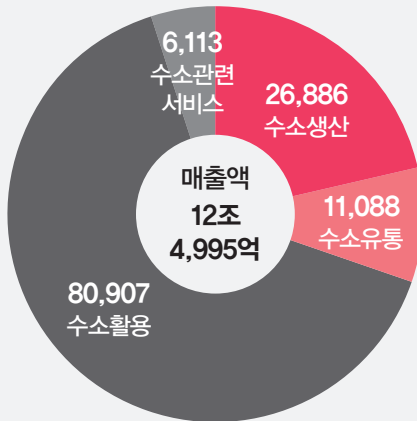
매출규모별 사업체 현황



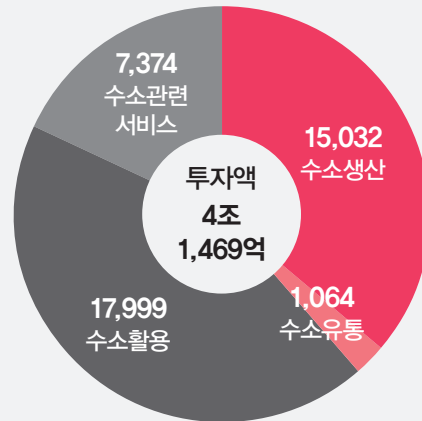
업종별 종사자 현황



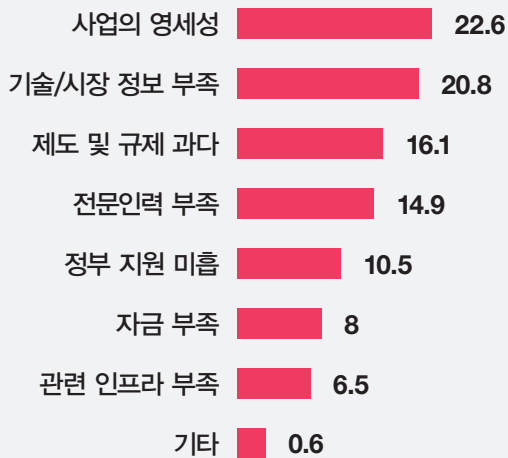
수소산업 매출액 현황



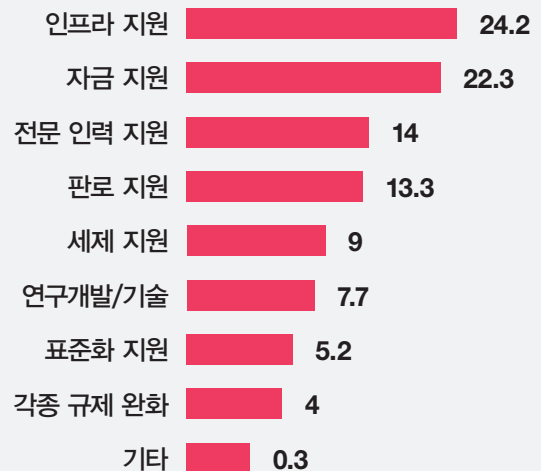
수소산업 투자액 현황



수소산업 육성·발전 장애 요인



수소산업 육성·발전을 위한 지원 필요 분야

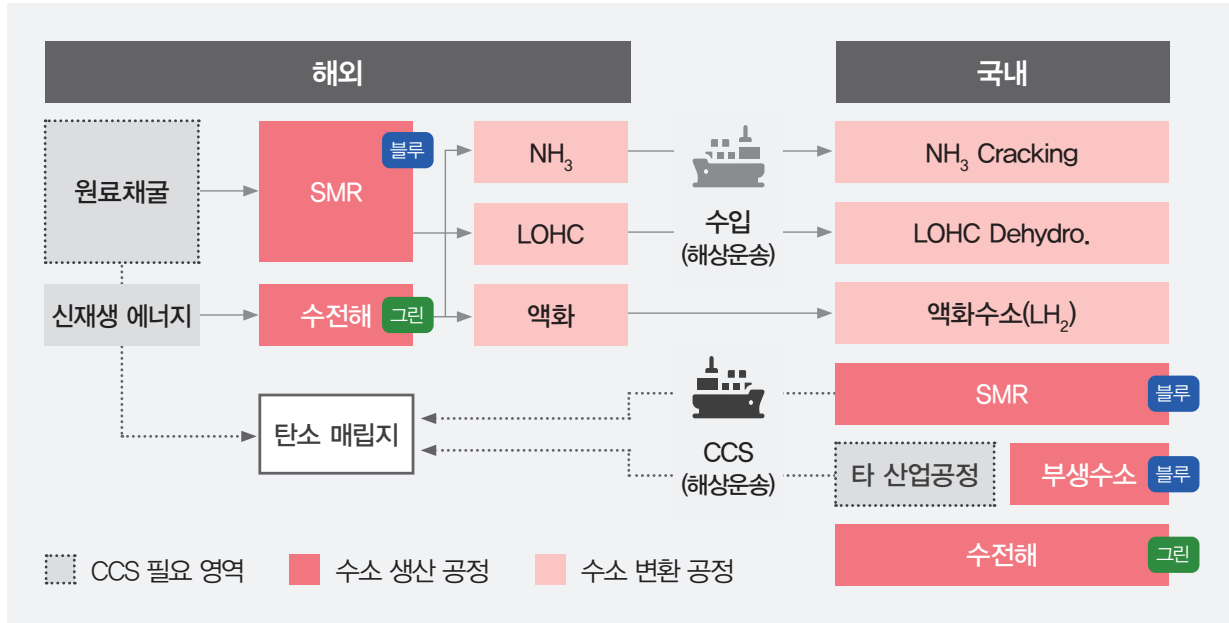


Source: 2023년 수소산업실태조사(2022년 기준)

수소는 천연가스 개질 후 CCS 처리하거나(블루 수소) 물을 수전해하여 얻을 수 있는(그린 수소) 깨끗한 연료이자 에너지 캐리어로서 점차 중요성이 높아지고 있다. IEA(국제에너지기구)의 수소 수요량을 토대로 추정한 결과 수소 시장은 2050년까지 약 4,190억 달러 규모로 성장할 것으로 전망되고 있다. 수소는 신재생 에너지 특유의 한계인 에너지 간헐성 및 저장, 운송 측면에서도 상대적 우위를 점하고 있어 원자력 및 화석연료를 제외하면 풍력, 태양광에 이어 세번째로 중요한 에너지원으로 위치를 확고히 하고 있다. 이런 배경 하에서 바야흐로 수소의 시대가 다가오고 있는 것이다.



그림 3. 수소 생산 및 운송 방식



Source: PwC

1) 수소 생산 방법

수소를 생산하는 방법은 화석연료를 개질하여 수소를 생산하는 SMR(Steam Methane Reforming) 방법과 물을 전기분해하여 수소를 생산하는 수전해 기술 기반 생산 방법으로 크게 나눌 수 있다.

① SMR

주로 메탄으로 구성된 천연가스와 스팀을 활용하여 수소를 만드는 제조법으로 현재 기술 및 원가 측면에서 가장 안정적으로 수소를 만들 수 있으나, 이산화탄소를 배출하는 전형적인 환경 문제를 안고 있어 탈탄소를 위해서는 추가적인 시설 투자를 통해 CCS(Carbon Capture and Storage) 처리를 해야 한다.

② 수전해

수전해 설비를 활용하여 물을 전기분해 하는 방식으로 풍부한 물자원을 활용하는 이점과 동시에 재생에너지 활용 시 이산화탄소의 발생 없이 가장 깨끗하게 수소를 제조할 수 있는 방식이다. SMR 방식에 비해 중장기적 관점에서 많은 투자가 이루어지고 있어 미래 수소 생산 방식의 대세가 될 가능성이 크다. 다만, 풍력, 태양광 등 재생에너지와 바이오매스를 활용해야 하므로 재생에너지 발전 설비 투자가 필요하다는 점 이외에도 수전해 설비의 촉매 및 교환막 제조기술 확보와 원가 절감, 스택 기술 안정화 등의 과제가 남아 있는 상황이다.

③ 부생수소

원유 정제, 석유화학 공정에서 납사를 리포밍하는 단계에서 부산물의 형태로 수소를 얻는 방식이다. 부산물로 얻은 수소를 제조공장에서 직접 소비한다는 점이 유리하나, 혼소 발전 등 대규모 수소 수요를 충족시키기에는 원 제조공정의 조업도에 따른 영향이 크고 생산량의 한계가 있다는 문제를 안고 있다.

현재의 기술개발 진척 상황으로 볼 때, 당분간 원가 우위를 갖는 SMR 방식과 CCS를 결합한 블루 수소 중심의 시장이 주도하다가 2030년 전후부터 수전해 설비의 기술 안정화 및 원가 경쟁력 확보로 그린수소의 개화가 본격화될 것으로 예상해 볼 수 있다. 곧, 빠른 시장 진입과 선점, 중장기적 포지셔닝 강화를 위해서는 블루수소 중심의 사업 진입전략 검토가 보다 중요하게 고려되어야 하며, 충분한 연구 및 기술개발 이후 장기적 관점에서의 사업 진입을 검토하는 사업자라면 2030년 이후의 그린수소 사업 내 밸류체인을 예측하며 사업을 검토하는 것이 보다 중요하다.

2) 수소 운송 방법

수소를 운송하는 것은 생각보다 매우 까다롭고 비용이 많이 드는 과정이다. 근거리에서는 컴프레서를 활용, 고압의 수소가스를 배관으로 직접 공급하거나 튜브 트레일러를 활용한 운송이 가능하다. 그러나, 수소를 자체적으로 생산하지 못하는 많은 국가들에서는 수소를 먼저 운송에 유리한 캐리어 형태로 일시적으로 변환하였다가 해상 운송 후 수요지에서 수소로 재변환하는 과정을 거쳐야 한다. 현재 활발하게 연구 및 실증이 진행되고 있는 수소 운송방식은 암모니아(NH₃), LOHC(Liquid Organic Hydrogen Carrier), 액화수소를 활용한 방식이다.

① 배관망

수소배관을 활용한 운송방식은 근거리에서 대규모로 안정적인 수소 공급이 가능하여 수소 생산 공정 인근의 발전소나 산업체 수요에 대응할 수 있는 방법이다. 다만, 이 방식이 갖는 다양한 장점과 더불어 배관망을 구성하는 데 높은 투자비가 들고 고압가스 관련 인허가 확보, 지역 주민 수용성 해결 등 풀어야 할 숙제도 많다. 수소사업을 검토하는 사업자로서 수km~수십km 이내의 오프테이커가 확보되었다면, 생산된 수소를 원활히 공급할 수 있도록 배관사업 운영을 위한 별도의 사업자와 협력하는 방안을 적극 검토해야 한다. 육상환경에서의 구축이 용이하지 않을 경우에는 해저배관을 검토하는 경우도 있으나, 해상공사의 기술적 난이도와 더불어 CAPEX가 매우 높다는 제약이 있다.

UE의 수소가스 파이프라인 사례(스페인/독일)



Source: The Economic Times

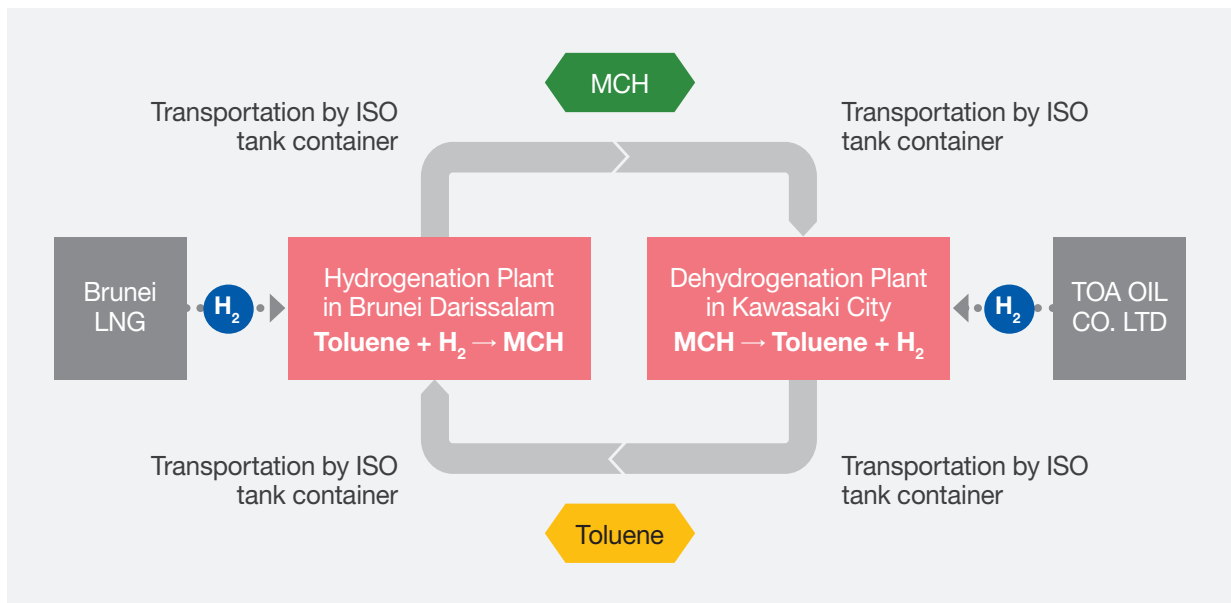
② LOHC(Liquid Organic Hydrogen Carrier)

LOHC는 액상유기운반체를 뜻하는 말로, 수소 생산지에서 톨루엔 등의 유기화합물에 수소를 첨가하여 메틸시클로hexan 등의 변환된 화합물 형태로 수요지까지 운송한 후, 이를 다시 탈수소(Dehydrogenation) 과정을 거쳐 수소를 분리할 때 활용되는 물질이다. 이는 곧 수소 생산지와 수요지에 별도의 합성 분해 시설을 투자해야 함을 의미하며, 수소 운반에 활용된 LOHC는 다시 재활용을 위해 출발지로 반환되어야 한다는 점도 부담이다. LOHC 물질의 생산규모도 크지 않아 가격 변동성이 있을 수 있으며, 수소의 저장 효율이 떨어지는 단점도 극복이 필요한 부분이다. 물질 유형으로 볼 때, 방향족 물질, 헤테로고리 화합물, 개미산 등의 유기화합물 형태로 나뉘어 아직 다양

한 연구개발이 이루어지고 있으나, 수소 추출속도가 느리거나 생산단가가 높은 등 대규모 상용화에 이르기까지는 시간이 더욱 필요할 전망이다.

일본에서는 치요다, 미쓰비시, 미쓰이물산 등이 참여하여 톨루엔을 활용한 수소 공급 실증사업을 수행하고 있는데, 브루나이에서 수소와 톨루엔을 결합, MCH(메틸클로로헥산) 형태로 수소 해상운송 후 다시 브루나이로 톨루엔을 반환 및 재활용하는 구조를 시험하고 있으며 이를 통해 사업의 타당성과 기술 적용성을 검증하고 있다.

그림 4. 일본 치요다 등의 LOHC를 활용한 수소생산 실증사업 사례(브루나이)



Source: The Motorship

③ 액화수소

액화수소 운송 방식은 말그대로 수소를 액화시켜 운송하는 방식으로, 기체의 수소를 -253°C 까지 낮춰 액화시킨 후 운반선에 설치된 탱크를 통해 운송하는 방식이다. 그러나, 냉각에 소요되는 에너지 사용량이 많아 전력 비용이 매우 높게 들고 운송 저장과정에서 증발로 인한 손실도 발생하여 현재로서는 경제성과 운송 효율의 대폭적인 개선이 이루어지지 않는다면 당분간 사업성을 확보하기가 쉽지 않을 전망이다.

④ 암모니아 운송 & 크래킹

암모니아는 이미 하버-보슈법에 따라 100여년 전부터 활발하게 제조되어 온 익숙한 화합물이다. 비료, 화약 등 산업 분야에서 널리 활용되던 물질이나, 최근 들어 액화 수소 대비 상대적으로 고온에서 운송할 수 있어 수소 캐리어로서 더욱 주목을 받고 있다. 이는 기존의 암모니아 저장 운송 인

프라를 그대로 활용 가능한 이점이 있고, 기존 암모니아 사업자라면 추가적인 규제 환경을 적용 받지 않기 때문에 사업적으로 유리하다는 장점도 반영된 결과다. 전술한 LOHC나 액화수소에 비해 상용화 시점이 빠르고, 수송 원가 관점에서도 LOHC와 유사한 수준이며, 이미 국내기업을 비롯해 다양한 글로벌 기업이 수소사업에의 적용을 앞두고 있는 기술이다.

암모니아 크래킹은 해상운송을 통해 수소를 액화 암모니아 형태로 들여온 후, 국내 발전소 등 수요지 인근의 크래킹 플랜트에서 촉매를 활용하여 수소로 재분해 함으로써 수소를 얻는 방식이다. 5개 발전 자회사, SK가스, 포스코, GS파워 등 국내 주요 LNG 발전사업자는 국가 NDC(국가온실감축목표) 달성을 위해 에너지 전환을 과감히 추진해야 하는 의무가 있어 LNG에서 혼소 발전, 전소 발전으로 점진적으로 이행해 가는 로드맵을 수립 실행하고 있다. 이런 국내 환경에 현 시점 가장 유리한 위치를 점한 방식이 암모니아를 수입하여 크래킹하는 방식이다.

결국 국내 수소 산업을 끌고 갈 CHPS 제도 하의 단기 블루 프린트는 명확하다. 수소를 생산하는 사업자는 해외에서 CCS를 처리한 블루암모니아를 수입하여 국내에서 크래킹 및 공급하고, 혼소 발전을 시급히 서둘러야 하는 LNG 발전사업자가 주요 오프테이커로 나서 이를 구매하는 모습으로 흘러갈 것이다. 국내외 수소 산업으로의 조기 진입을 검토하는 사업자라면 이 과정을 반드시 주목해야 한다. 결국은 트레이딩 역량을 기반으로 원재료인 암모니아를 경쟁력 있는 가격에 도입하는 트레이더로서의 비즈니스, 촉매 기술 기반 라이선스 비즈니스, 플랜트 엔지니어링 역량 기반의 크래킹 플랜트 EPC 비즈니스, 가스 배관 구축 및 운영 비즈니스 등이 대표적인 사업 모델이 될 것이다.

HD현대 대형 액화수소 운반선 조감도



Source: HD현대

암모니아 크래킹 플랜트 사례

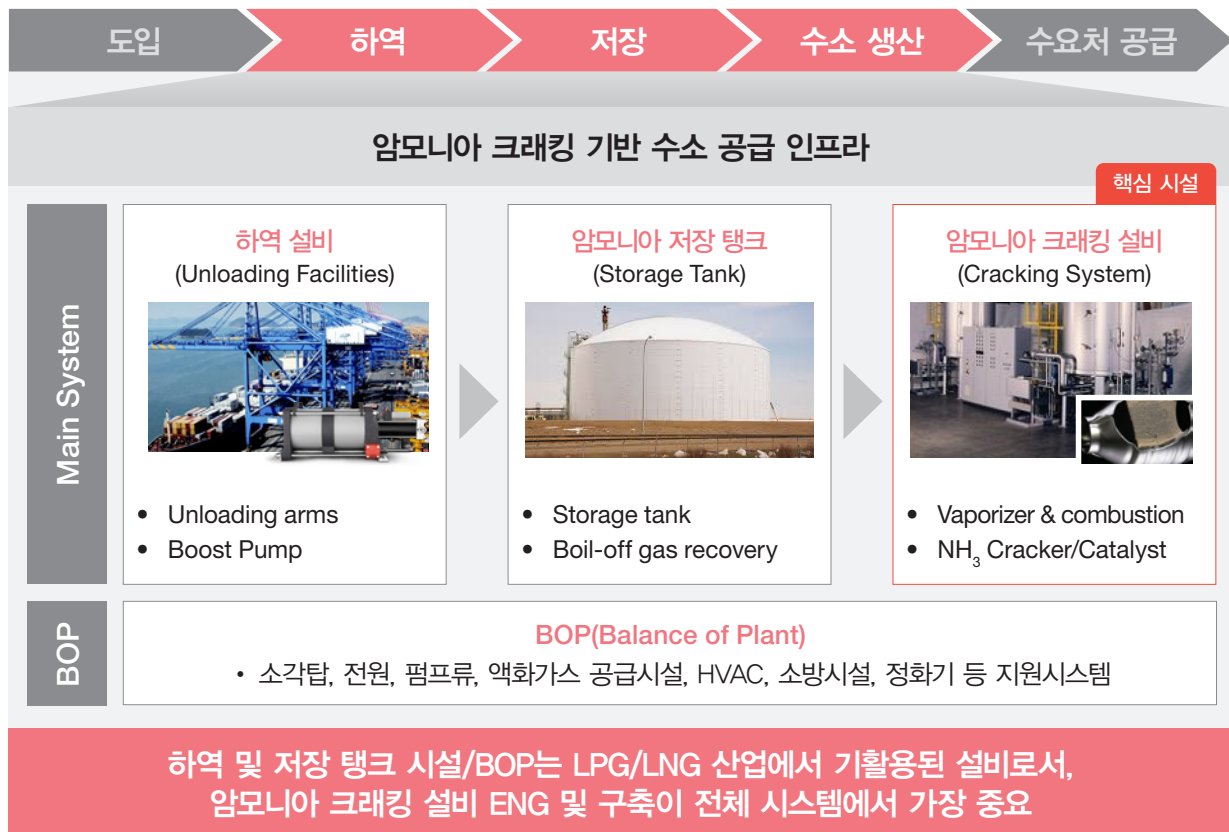


Source: Johnson Matthey

암모니아 크래킹 방식의 특성과 기술적 구현 가능성

암모니아 크래킹은 도입 및 하역, 저장, 생산의 3단계를 거쳐 암모니아를 기반으로 수소를 만들어내는 방식으로 구성되며, 이 중에서 하역 및 저장 탱크는 LNG 등 기존 산업을 중심으로 많이 활용되던 시설로서 새로운 기술이 필요 없기 때문에, 수소 생산 단계의 설비에 해당하는 암모니아 크래킹 설비가 핵심으로 꼽힌다. 하역 설비는 주로 선박이 접안할 수 있는 안벽으로부터 접근성이 있는 항만 부지 내 위치하며, 하역이 완료된 암모니아는 저장 탱크에 이송 및 저장된 후, 배관을 통해 암모니아 크래킹 설비로 공급되게 된다. 암모니아 크래킹 설비는 열분해, 광분해 등 분해 방식에 따라 다른 구조를 취하며, 현재 기술적 타당성과 안정성이 우월하다고 인정되는 열분해 방식의 경우 촉매를 활용한 고온의 환경에서 암모니아를 쪼개 수소를 만들어내는 방식을 취하고 있다.

그림 5. 암모니아 크래킹 프로세스



Source: PwC

암모니아 크래킹 플랜트를 구축함에 있어서 가장 문제가 되는 점은 단연 구축 운영 경험이다. 독일 함부르크, 네덜란드 로테르담, 벨기에 엔트워프 등 암모니아 크래킹 기반의 수소사업을 준비하는 많은 국가들이 아직은 실증 단계이거나, 상업화를 목표로 추진하더라도 개념설계 단계에 머무르고 있는 실정이다. 아직 해외에서도 대형 상업화 사례가 존재하지 않는다는 점에서 혼소 발전 등 대형 오퍼레이터를 대상으로 안정적으로 공급 가능한지에 대해 검증된 적은 없다는 의미다.

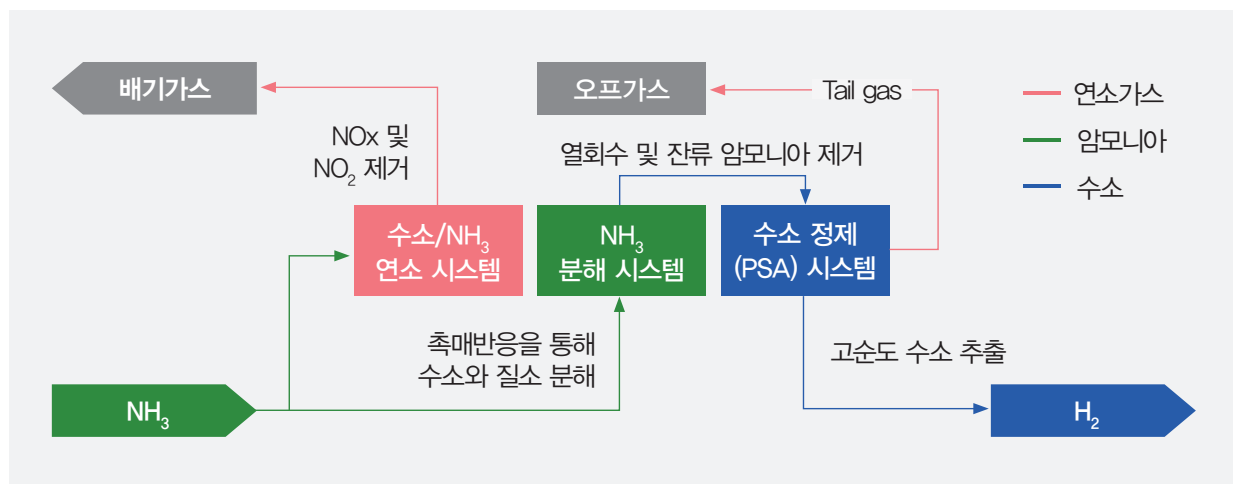
표 1. 글로벌 암모니아 크래킹 프로젝트 사례

프로젝트 및 추진 내용	목표	개념설계 (F/S)	기본설계 (FEED)	EPC	시운전
독일 함부르크 암모니아 크래킹 프로젝트 Air Product/Mabanaft, 독일 최초 그린에너지 터미널 및 암모니아 크래킹 구축사업 추진 중. 現 개념설계 및 크래킹 프로토타입 개발 중(26 완공 목표)	Commercial	✓			
독일 북부지역 암모니아 크래킹 파일럿 Aramco/Linde 협력 구도로 크래킹 기술 공동 개발 및 독일 내 기술 소개 및 고객 유치 위한 데모 성격의 프로젝트 추진 중	Pilot	✓			
독일 로스톡항 암모니아 크래킹 파일럿 Jera(일)/EnBW(독)/VNG(독)社 공동 협력하여 독일 북부 로스톡항에 모듈러 크래킹 데모 플랜트 계획, 400kg/day 수소 생산 실증 성공	Pilot	✓			
네덜란드 로테르담항 암모니아 크래킹 프로젝트 로테르담 항만청 주도로 Air Liquide, Aramco 등 글로벌 18개 사가 참여하여 암모니아 크래킹 타당성 검토 수행 (美 Fluor社 수행)	Commercial	✓			
벨기에 엔트워프항 암모니아 크래킹 파일럿 프로젝트 Air Liquide에서 추진하는 파일럿 프로젝트로, 암모니아 크래커 및 수소 가스터빈 일체형 개발 중, '24년 완공 및 25년 내 실증 완료 목표	Pilot			✓	
일본 암모니아 크래킹 기술 개발 프로젝트 JERA, Nippon Shokubai, Chiyoda 암모니아 크래킹 기술 공동 개발 중(~'25)	Lab		✓		
미국 미시간 암모니아 생산 및 크래킹 실증 프로젝트 AmmPower, Michigan에 위치한 개발 시설에서 암모니아 -수소 추출 성공	Lab				✓
EU 대규모 암모니아 크래킹 타당성 분석 Amogy, Trafigura와 함께 유럽 시장 타겟으로 상업 스케일의 암모니아 크래킹 기술의 적용 타당성 검토 추진 중('22.9~)	Commercial	✓			

Source: PwC

그렇다면, 대형 상업화의 가능성은 어느 정도 수준이라고 예측할 수 있을까. 암모니아 크래킹 설비를 좀 더 자세히 들여다보면, 600도 이상의 고열로 연소 및 가열한 후 촉매와 물리화학적 반응을 거쳐 분리된 수소에서 정제시설인 PSA(Pressure Swing Adsorption)로 불순물을 제거한 후 순도 높은 수소를 얻는 방식으로 구성된다. 이는 기존의 SMR 공정과 높은 유사성을 갖고 있으며, 바로 이 점이 과거부터 활용된 SMR 기술의 활용성을 좋게 하고 있다. 지금까지는 발전소 등 대형 수소 오프테이커가 존재하지 않아 암모니아 크래킹 사업이 활성화되지 않았다면, 앞으로는 국내외 주요 발전소를 중심으로 LNG 가스터빈을 혼소용으로 개조하여 혼소, 전소로 이어지는 로드맵을 실행할 가능성이 매우 높아 수소 수요가 본격화될 전망이다. 새로운 대형 오프테이커의 등장으로 비로소 암모니아 크래킹 방식의 대형 상업화 기회가 열리게 된 것이다.

그림 6. 암모니아 크래킹 공정의 흐름



Source: PwC

그림 7. 암모니아 크래킹 공정과 SMR 공정의 비교



Source: PwC

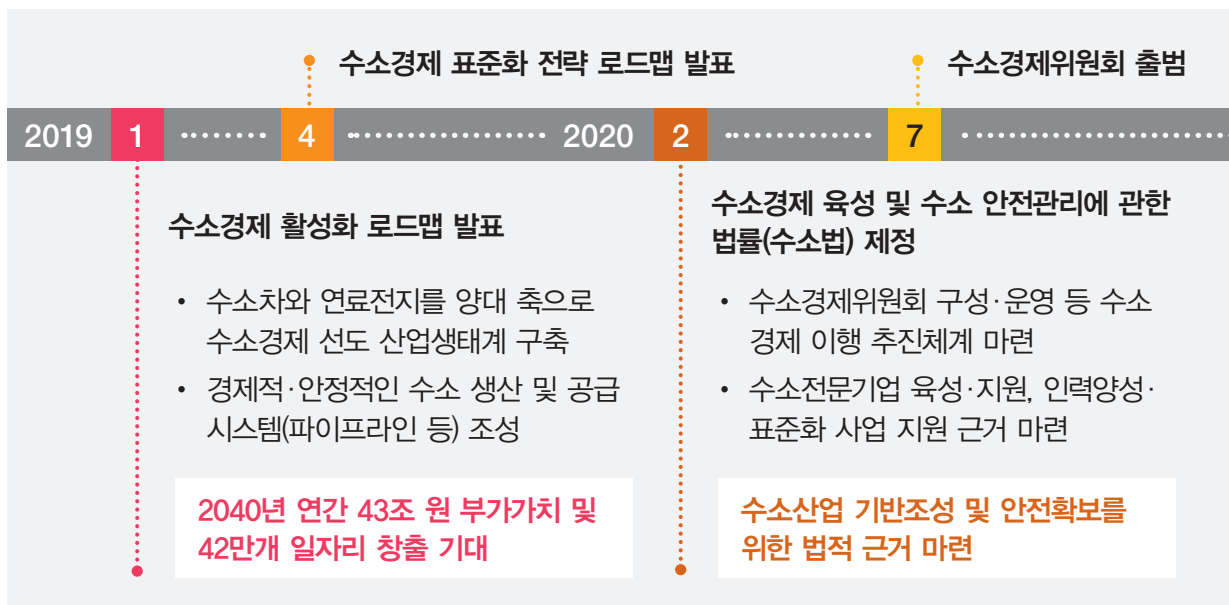
국내 수소시장의 최대 수요처, 발전사업자의 정책 환경

우리나라는 세계 8대 에너지 수입 국가로 한 해 동안 소비하는 에너지의 약 95% 수준을 수입에 의존하고 있다. 따라서, 수소는 단순히 탈탄소 미래 에너지원으로서만 중요한 것이 아니라, 국가의 에너지 안보 관점에서도 중요성이 높아지고 있다. 이 때문에 한국은 '20년에 세계 최초로 수소법을 제정하여 '21년부터 시행해 오는 등 정책 환경의 정비에도 발빠르게 대응하고 있다. 또한, 국무총리 주재의 수소경제위원회를 발족하여 국내 수소사업 육성을 위한 정책 수립, 생태계 구축, 업계 의견 수렴 등 다양한 역할을 수행하고 있다.

당분간 수소사업의 수요는 단연 발전소가 주도할 것으로 전망된다. 중장기적으로 볼 때 2050년에는 수소차 및 충전 인프라의 보급 정도에 따라 수송 부문의 수소 수요가 이를 추월할 수 있다는 연구도 있으나, 이는 전기차의 보급 수준에 따라 민감한 영향을 받아 변동성이 크기 때문에 현재로서는 장기적으로 추정하기엔 불확실한 면이 많다.

그렇다면, 향후 10년 내외의 단기 및 중기 수요를 주도하는 국내 발전 부문의 정책환경이 어떠한지를 보는 것이 중요하다고 볼 수 있다. 수소를 활용한 발전사업에 영향을 미치는 핵심적인 정책은 CHPS 기반의 청정수소 입찰시장과 낙찰 여부에 중요한 영향을 미치는 청정수소 인증 제도이다.

그림 8. 국내 수소산업 관련 정책 연혁





Source: 수소경제 종합정보포털, 대한민국 정책브리핑 보도자료

1) CHPS(Clean Hydrogen Portfolio Standard) 및 청정수소 입찰시장

CHPS는 일정 규모 이상의 대규모 발전사업자에게 전력량의 일정 부분을 청정수소로 생산하도록 의무를 부과한 제도다. 기존에는 수소연료전지발전소가 RPS(Renewable Portfolio Standard, 발전량의 일정비율 이상을 재생에너지를 이용하여 공급하는 것을 의무화한 제도) 시장 내에서 경쟁했으나, 23년부터 수소경제 활성화를 위해 수소를 연료로 활용하는 발전을 별도로 분리하여 운영하는 형태로 바뀌었다.

지난 2023년 RPS 시장과 분리된 일반수소 입찰 시장이 최초로 열렸다. 상하반기로 나뉘어 6월과 8월에 각각 입찰 공고가 났는데, 상반기는 5개, 하반기는 19개의 발전소가 최종 낙찰되어 목표한 물량을 모두 채웠다. 일반수소 입찰시장은 주로 수소연료전지 발전소를 중심으로 입찰이 이루어졌다.

2024년에는 일반수소와 더불어 청정수소 입찰 시장이 별도로 열릴 예정이다. 산업부의 계획에 의하면 올 상반기 내에 시장이 개설될 전망이다. 일반수소와는 달리 블루 암모니아 및 그린 암모니아 수입 기반의 수소 생산, 국내에서의 SMR 및 CCS를 처리한 수소 생산 물량이 발전 수요를 중심으로 본격적으로 시장 내에서 경쟁하는 시점이라고 볼 수 있다.

표 2. 수소발전입찰시장(CHPS) 및 RPS, 전력시장 제도 비교

구분	수소발전입찰시장	RPS	전력시장
기본개념	• 수소발전에 대한 '전력량'을 거래	• 신재생발전에 대한 '인증서'를 거래	• 모든 발전사와 판매사는 전력시장에서 '전력량' 거래
공급자	• 수소발전사업자	• 신재생발전사업자	• 모든 발전사업자
거래의무 여부	• 판매사업자(한전) 등에 발전량 구매 의무 부여	• 일정 규모 이상 신재생 외 발전사업자에 인증서 확보의무 부여	• 특정 거래 의무 없음 (연료비 순위 등에 따라 거래여부 결정)
입찰/낙찰기준	• 입찰가격 • 비가격평가 고려	• 입찰가격 • 비가격평가 고려	• 거래소가 평가한 발전비용 • 비가격평가 없음
정산방식	• 입찰가격(Pay-As-Bid) 정산	• 입찰가격(Pay-As-Bid) 정산	• 한계가격(Pay-As-Clear) 정산

Source: 수소경제 종합정보포털, 대한민국 정책브리핑 보도자료

표 3. 청정수소 발전시장 운영계획('24)

설계영역	설계 기준		설계(案)
기본 운영방안	개설물량	전기분, 수기분 계획 및 탄소 저감을 고려 수소발전량 결정(산업부 고시)	6,500GWh(24년 기준)
	시장구분	가격경쟁 효과 극대화를 우선 고려하여 시장 구분	통합시장(기술 중립)
	계약기간	사업준비, 건설, 발전기 수명 등 고려하여 선정	준비 3년/계약기간 15년
입찰 제안 사항	입찰물량	입찰시장 참여 물량	연간 청정수소발전량(kWh)
	입찰/낙찰가	발전 원가(LCOE), 낙찰가 및 계약가	Pay as Bid
	입찰상한가	입찰 및 낙찰 시 적용되는 상한선	상한 설정, but 비공개
낙찰자 선정	최소자격	사업취지 고려 시의 최소 자격 요건	기술, 재무, 연료, 배출량 적용
	평가방식	입찰제안서 평가	가격 + 비가격

설계영역	설계 기준		설계(案)
현물시장 연계 및 정산	발전 방식	현물시장 연계	중앙급전 + 제약발전
	현물/계약정산	현물 : 하루전 시장 및 실시간 시장 정산 계약 : 계약가격 - SMP, 연료비 index 조정 적용	SMP/발전차액 정산
	과부족물량	지체사유, 계통 문제, 혼소율 미달 등 발전량 미달 시	정산금 차감 등 페널티

Source: 전력거래소

전체 개설물량은 6,500GWh로서 계약기간이 20년인 일반수소 시장과 다르게 15년 계약으로 설정하여 기술 및 발전단가 개선 효과를 유도하고 있으며, 전체 LCOE와 연료비 2개의 항목에 대해 오프테이커 기준을 제시하고 있어 입찰 준비 과정에서의 경쟁력 있는 LCOE 구현과 더불어 치밀한 연료 조달 계획이 동시에 요구된다. 또, 기술중립이란 원칙을 들어 수소를 만들어내는 어떠한 방법이라도 혼소 이전보다 탄소 배출량이 적고 열량 기준 20% 이상의 혼소율만 달성하면 누구나 참여가 가능하다는 입장을 보이고 있다. 이는 곧, LNG 기반으로 국내에서 SMR 방식으로 수소를 생산하여 국내외에서 CCS 처리하는 방식과 해외에서 암모니아, LOHC, 액화수소를 도입하여 크래킹, 탈수소, 기화 등의 과정을 거쳐 수소를 생산하는 모든 방식이 같이 경쟁함을 의미하며 정책적으로 어떤 방법도 우대하거나 차별하지 않겠다는 정책적 중립을 시사한다. 이에 따라 자연스럽게 각 방법의 시기별 시장 경쟁력이 결정될 전망이다.

가격요소와 비가격요소의 비중은 6:4로 결국은 LCOE 자체의 경쟁력을 확보하는 게 가장 중요하며, 이산화탄소 배출량에 따른 청정수소 등급의 확보, 다양하고 경쟁력 있는 연료 공급선 확보, 인허가 및 주민 수용성의 안정적 확보 등이 낙찰 여부를 가르는 중요한 요소로 꼽힌다.

특히, 입찰가격의 경우 고정비를 포함한 LCOE 뿐만 아니라, 연료비 자체에 대한 상한가격을 적용하기 때문에 수소나 암모니아의 구매 가격과 운송비, 탄소 포집 비용 자체의 합계에 대해서도 상한 기준을 통과해야 한다. 이는 미국, 캐나다, 호주, 중동 등 주요 수소 및 암모니아의 생산국가와의 적절한 도입가와 운송방식 채택, 경쟁력 있는 CCS 방법과 비용구조의 도출이 중요하다는 의미가 된다.

표 4. 수소발전입찰시장(CHPS) 2023년 운영 결과

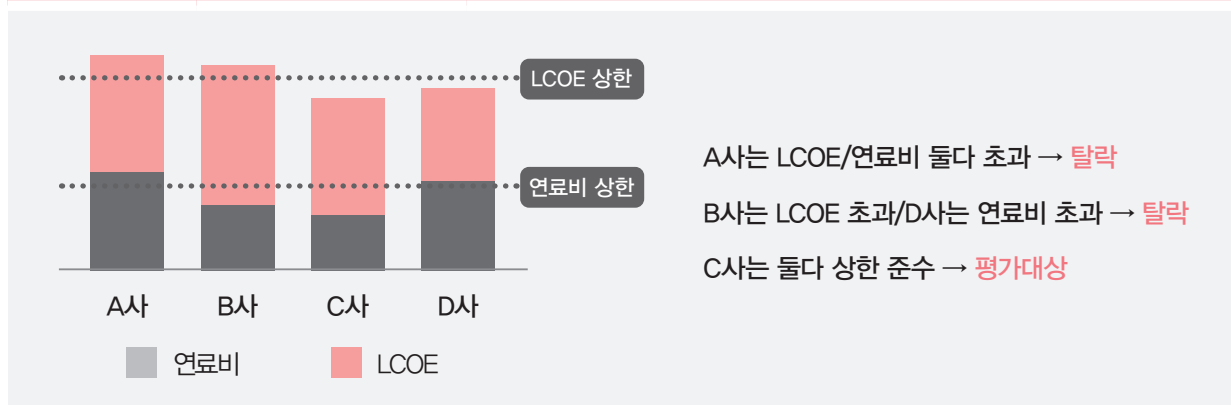
입찰참여 현황				낙찰결과			
<ul style="list-style-type: none"> 총 46개사, 161개 사업(888MW) 참여 입찰물량 기준 경쟁률 5.36:1 *(RPS 고정가격계약 경쟁률 현황) '23 태양광 1.1:1, '22 풍력 1.9:1				<ul style="list-style-type: none"> (발전단가 인하) RPS 대비 평균 발전단가 약 12% 하락 (분산전원 확대) 평균 설비용량 7MW, 수도권 비중 63% (국내산업 기여) 국내 생산 주기기사 비중 60% 			
구분	공고물량	입찰물량 (설비용량)	경쟁률	구분	낙찰물량	평균물량	발전기수 (사업자수)
하반기	650GWh	3,878GWh/연 (518MW)	5.97:1	하반기	715GWh	143GWh/연	5기 (5개사)
상반기	650GWh	3,084GWh/연 (370MW)	4.74:1	상반기	715GWh	38GWh/연	19기 (5개사)
종합	1,300GWh	6,962GWh/연 (888MW)	5.36:1	종합	1,430GWh	60GWh/연	24기 (9개사)

Source: 수소경제 종합정보포털, 대한민국 정책브리핑 보도자료

표 5. 청정수소 발전시장 입찰가격 기준('24)

입찰가	입찰가 구성 비용/기준	
청정수소발전 LCOE	청정수소발전 LCOE	LCOE 및 연료가에 2종의 상한 기준 적용, 'and' 요건 충족 필요
	고정비	발전기 개조 비용, 인수 설비, 저장 탱크, 배관, 크래커, 운영비
	연료비	연료가격, 수송비, CCS 비용 그린 암모니아·수소: 고정가 only 블루 암모니아·수소: 고정가 / Index(헨리 허브 등) 적용 택 1

입찰가 상한 적용 예시

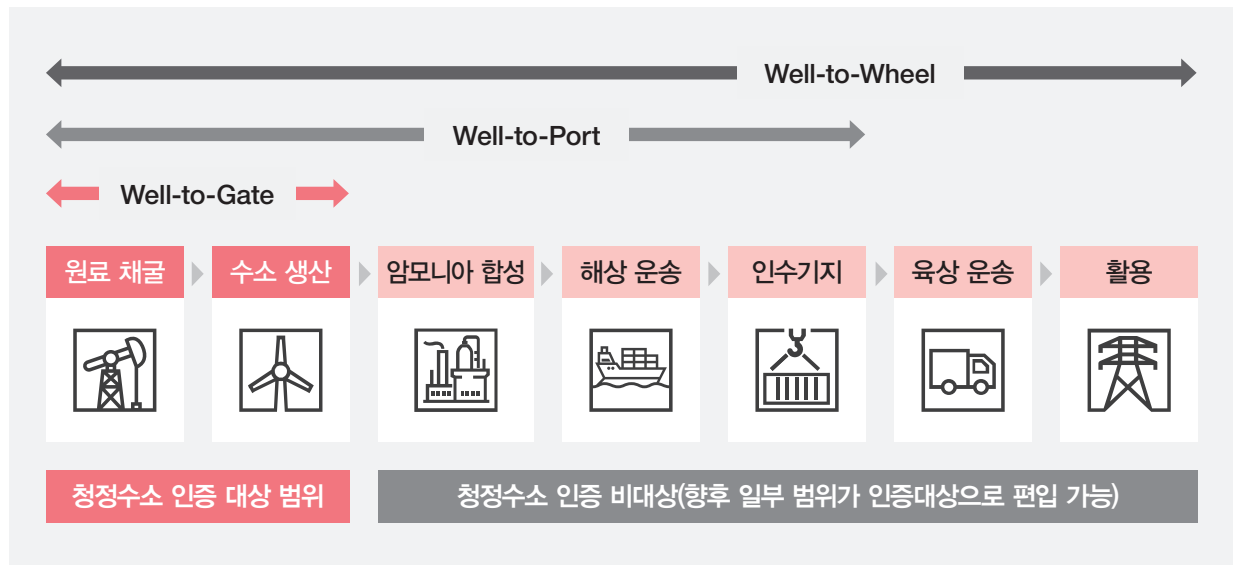


Source: 전력거래소

2) 청정수소 인증제도

CHPS에 따라 의무이행해야 하는 주요 수단이 청정수소이므로 당연히 청정하다는 것이 무엇인지를 정의하는 인증 기준과 인증 서비스 운영기관의 지정에 대해 법적 근거가 먼저 정해져야 할 것이다. 23년 12월 정부에서는 관계부처 합동의 문건을 내고 청정수소 인증제 운영방안의 초안을 공개했다. 아직 업계의 반응을 수렴하여 보다 구체화하고 확정되어야 할 사항들이 남아 있으나, 인증을 부여하는 이산화탄소 배출량의 범위 등 중요한 골격은 제시되어 있다. 국내 청정수소 인증제도의 핵심적인 특징은 수소 및 암모니아의 운송수단에 의한 영향을 배제한 ‘Well to Gate’ 방식을 적용한다는 것에 있다. 이는 우리나라는 청정수소를 대부분 수입에 의존해야 하며 친환경 선박 기술이 지속 개발되고 있는 추세를 고려한 결과이다. 따라서, 입찰에 참여하는 발전사는 원료 생산단계까지의 이산화탄소 배출량에 집중하여 그린 수소/암모니아를 확보할 수 있는 공급사에 투자하여 물량을 확보하거나, 블루 수소 및 암모니아를 생산하되 수소 생산까지의 과정에서 발생한 이산화탄소를 높은 효율로 CCS 처리할 수 있는 네트워크를 확보하는 데 집중해야 한다.

그림 9. 청정수소 인증제도의 배출량 산정 범위



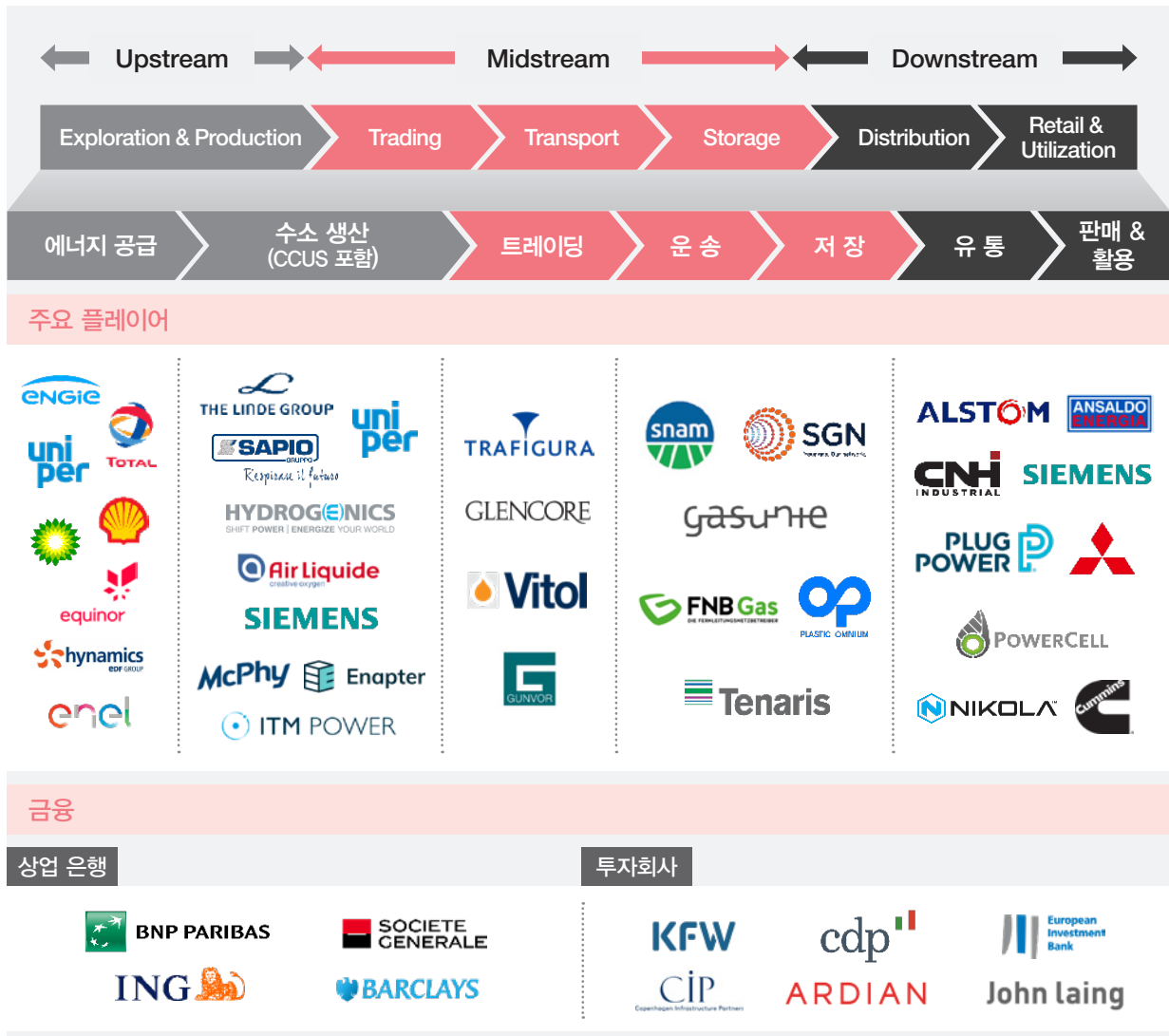
Source: 산업부

5

수소 사업의 밸류체인 구조

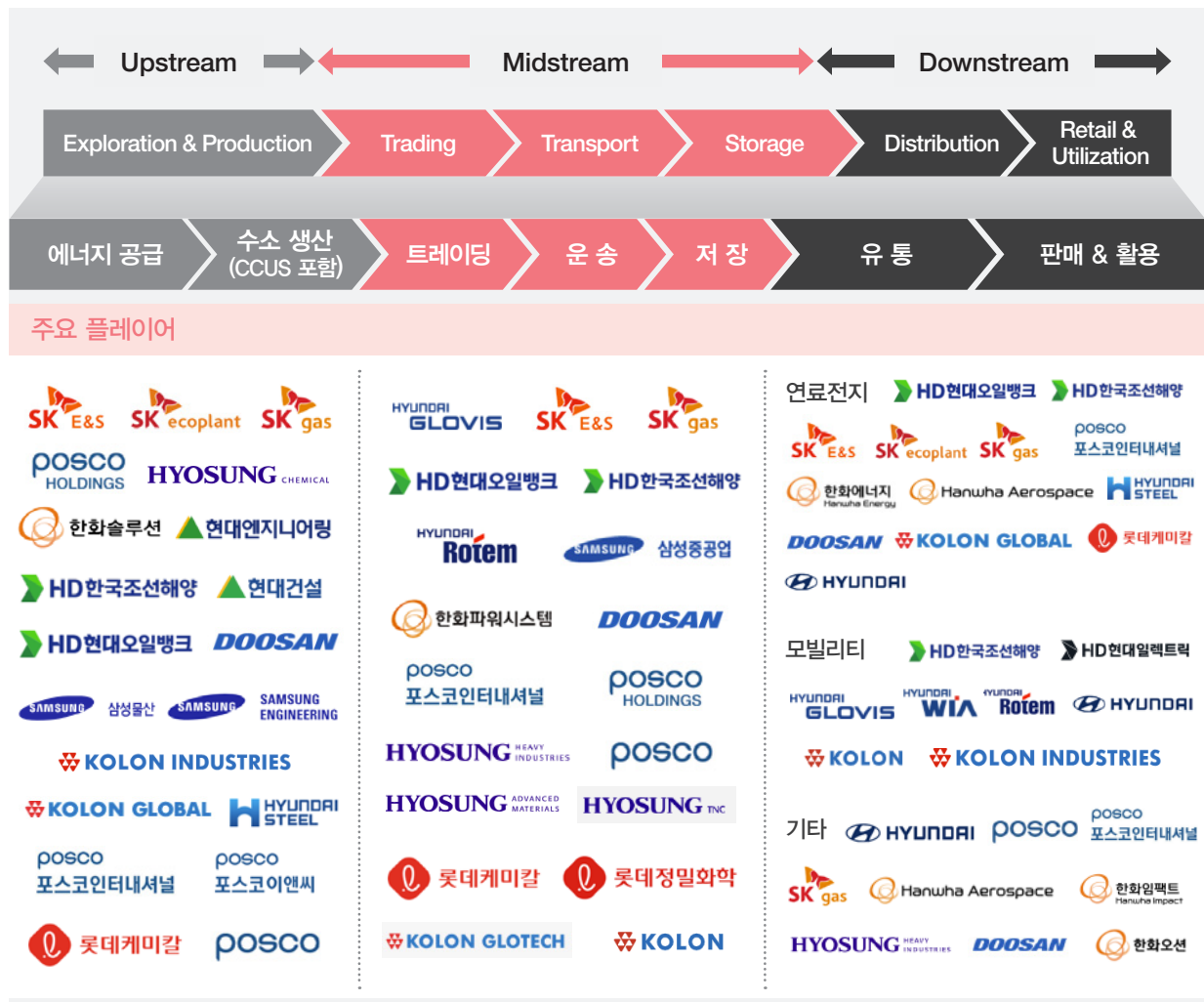
수소사업의 밸류체인은 크게 보아 에너지와 원료를 공급받아 수소 및 수소 캐리어를 생산하는 업스트림 단계, 도입 및 운송, 저장을 담당하는 미드스트림 단계, 중간 유통 및 소매 판매까지 담당하는 다운스트림 단계의 3부분으로 구성된다. 이는 전통적인 화석연료 기반의 에너지 사업과 유사성을 갖는다.

그림 10-1. 수소 사업 밸류체인 및 주요 글로벌 기업



Source: PwC Germany

그림 10-2. 수소 사업 밸류체인 및 주요 국내 기업



Source: KB경영연구원, 언론 보도

1) Upstream

① 에너지 공급

에너지 공급은 주로 오일 메이저 혹은 유틸리티 사가 담당하는 영역으로, SMR 개질의 원료가 되는 LNG를 공급하거나, 풍력, 태양광 등의 프로젝트를 통해 에너지를 공급하는 역할을 수행한다. 최근, 화석연료의 탈피를 위해 이 영역 내의 거의 대부분 기업이 에너지 트랜스폼을 추진하고 있어 신재생 에너지에 대한 투자를 가장 주도적으로 수행하는 영역이기도 하다. 이들은 해외는 물론 울산 등 국내에서도 다양한 신재생 에너지 단지를 개발하는 사업을 활발히 추진 중에 있다.

② 수소 생산

수소 생산은 최종제품인 수소를 생산하는 업체 뿐만 아니라, 이를 운반할 수 있는 암모니아, LOHC 등의 생산 업체, 이들을 합성하고 분해하는 시설 및 플랜트의 설계와 시공을 담당하는 엔지니어링사와 EPC사, 크래커 등 주요 설비 제조 업체, 크래킹 촉매 기술 제공 업체, CCUS 처리 업체 등 다양한 비즈니스 유형이 공존하는 영역이다. 국내 EPC사 및 화학사 등을 중심으로 활발한 진출이 예상되는 영역이기도 하다.

표 6. Upstream 부문 국내 주요 플레이어

대기업 그룹	내용
SK그룹	<p>〈SK E&S〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 'SK 플러그 하이버스'의 '기가팩토리'로 수전해 설비 대량 생산 예정 • '26년 보령 LNG터미널 인근 청색수소 생산기지 구축, 연간 25만 블루 수소 공급 계획
	<p>〈SK Ecoplant〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 뉴지오호닉 프로젝트에 SOEC(수전해기술) 공급 예정
	<p>〈SK Gas〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 울산 클린 에너지 복합단지(CEC) 구축 중(~'25) • 추출수소 설비 구축 예정
한화그룹	<p>〈한화 솔루션〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 음이온 교환막 수전해 방식 개발 중 • 평창 수전해 수소생산기지 구축 중(2.5MW, '25. 4월 상업 생산 목표)
현대차그룹	<p>〈현대제철〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 철강 제품 생산 과정의 부생가스 이용 연간 3천 수소 생산 및 공급 중 • '24년 2만, '30년 10만으로 규모 확대 목표
	<p>〈현대건설〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 전북 부안 수전해 기반 수소 생산기지 구축 중('25 그린수소 생산 계획) • 한국석유공사와 동해가스전 활용 CCS 실증사업 추진('25~'30)
	<p>〈현대엔지니어링〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 충남 보령 수전해 기반 수소 생산기지 구축 중(수소 1t/일 생산 가능) • 테크로스와의 '알칼라인 수전해 기반 그린수소사업 협력' 위한 MOU 체결
현대 중공업그룹	<p>〈HD현대오일뱅크〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • '23 기준 약 20만/년의 그레이 수소 생산 능력 보유 • 신비오케미컬과 '액체 탄산 생산공장' 구축, 수소 생산 시 발생한 이산화탄소를 원료로 블루 수소 생산 • 아람코와 MOU 체결, 공급받은 LNG 통해 블루수소 생산 계획 • 청정 수소 제조 위한 암모니아 크래킹 촉매 개발 진행 중
	<p>〈HD한국조선해양〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 쉘, 미국선급협회(ABS), 독일 린데와 함께 '연안부유식 그린수소 생산 및 액화 플랫폼' 기술 개발 중

대기업 그룹	내용
효성그룹	<p>〈효성케미칼〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 부생수소 생산('27 3만9천톤 수소 생산 목표)
포스코그룹	<p>〈포스코홀딩스〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 오만 두쿰지역 그린수소·암모니아 개발 사업 진행 중('30 준공, 700만 생산 목표) 호주 그린수소 개발 중('50년 200만 생산 목표) 어프로티움(舊 덕양)과 수소 사업 협력 MOU 체결, '26년까지 이산화탄소 포집과 천연가스 개질 설비 설치(연간 4만 생산)
	<p>〈포스코〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 신재생에너지용 강재 개발 및 생산(DNV 인증)
	<p>〈포스코인터내셔널〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 미국 해상 CCS 사업 개발 중 글로벌 수소무역, 재생에너지 사업 추진 아드녹, 포스코홀딩스와 광양 '청정수소생산사업 공동조사를 위한 전략적 협력 협약(SCA)' 체결 인도네시아 페르타미나와 CCS 및 블루수소, 암모니아 분야 협력 MOU 체결
	<p>〈포스코이앤씨〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 수전해, 암모니아 수소 추출 설비 기술 개발
롯데그룹	<p>〈롯데케미칼〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 암모니아 기반 청정수소 생산 위한 국책사업 수행 일본 이토추상사, 스미토모상사와 청정 암모니아 관련 기술 상용화 협력 독일 RWE, 일본 미쓰비시상사와 JSA 체결, 미국 텍사스주에서 청정 암모니아 생산 및 수출 위한 연구 협력('30부터 청정 암모니아 1천만 생산 목표) 미국 CF인더스트리스와 미국 루이지애나주 등에서 청정 암모니아 생산 투자 협력 (롯데SK에너지루트)울산공장 내 약 3,700평 부지에 부생수소 연료전지 발전소 건설
삼성그룹	<p>〈삼성물산〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 김천시에 오프그리드(Off-grid) 태양광발전 기반 그린수소 생산 시설 구축 (하루 0.6톤 그린수소 생산·저장·운송 인프라, '25 1월부터 상용 생산 계획) 오만 살랄라지역 그린수소·암모니아 개발 사업 진행
두산그룹	<p>〈두산퓨얼셀〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 1MW급 PEM 수전해 시스템 국내 기업 최초 독자 개발, 실증 준비 중
	<p>〈두산에너지빌리티〉</p> <ul style="list-style-type: none"> '23 3.3MW급 제주그린수소생산플랜트 참여 태국전력청(EGAT)과 'CCUS와 무탄소 발전기술 공동연구 MOU' 체결
코오롱그룹	<p>〈코오롱인더스트리〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 수전해용 고분자 전해질막(PEM), 막전극접합체(MEA) 소재 개발 착수
	<p>〈코오롱글로벌〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 충주시와 '청정수소 밸류체인 구축 MOU' 체결, 청정수소 생산·공급 위한 수소생산 거점 구축 바이오가스 활용 그린수소 생산 시스템인 미생물전기분해전지(MEC) 시스템 개발 중('25 완성 목표)

Source: 각 사 홈페이지, 언론 보도

2) Midstream

① 트레이딩

트레이딩 영역을 담당하는 글로벌 트레이딩사들은 화석연료의 시추, 정제, 저장, 운송과 arbitrage 거래를 통해 수익을 추구하는 업체이다. 도입 터미널부터 정유 시설, 선박, 트럭 운송망 등에 이르는 전 세계 시장에 확보한 네트워크를 통해 석유와 가스를 공급하고 있으며, 최근 신재생 에너지로의 전환을 위해 풍력, 태양광, 수소 등에 대한 연구개발과 투자를 꾸준히 수행해 오고 있다. 이들은 트레이딩과 동시에 저장, 운송 사업을 같이 수행하는 경우가 많다.

② 운송 및 저장

수소의 저장 및 운송을 담당하는 영역으로서 배관망 제작 및 설치, 운영업체가 포함되며 튜브 트레이일러 등을 활용한 운송사업자도 포함된다. 수소의 손실을 최소화하면서 저장할 수 있는 저장 설비 제조업체도 여기에 해당한다.

표 7. Midstream 부문 국내 주요 플레이어

대기업 그룹	내용
SK그룹	<p><SK E&S></p> <ul style="list-style-type: none"> • 인천에 연 3만톤(세계 최대) 액화수소플랜트 준공 후 시운전 중 • 액화수소충전소 약 40개소 구축 중
	<p><SK Gas></p> <ul style="list-style-type: none"> • 울산 지역 인프라 활용, LNG 냉열로 수소 액화플랜트 가동 계획 • 기존 LNG충전소 활용한 수소충전소 확대 및 액화수소충전소 구축 예정
삼성그룹	<p><삼성중공업></p> <ul style="list-style-type: none"> • 말레이시아 MISC, 영국 로이드 선급과 함께 암모니아 추진 유조선 건조 목표 사업협력 MOU 체결
한화그룹	<p><한화파워시스템></p> <ul style="list-style-type: none"> • 패키지형 수소충전 시스템 공급
현대차그룹	<p><현대글로벌비스></p> <ul style="list-style-type: none"> • 수송용 부생수소 운송 • HD한국조선해양, 호주 우드사이드에너지, 일본 MOL과 액화수소 운송 공급망 공동 개발 MOU 체결
	<p><현대로템></p> <ul style="list-style-type: none"> • 수소 주입기(디스펜서) 생산
두산그룹	<p><두산에너지빌리티></p> <ul style="list-style-type: none"> • 하이창원 액화수소플랜트 준공(연 1800t 생산 가능)

대기업 그룹	내용
현대중공업 그룹	<p>〈HD현대오일뱅크〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 고정형 수소 충전소 확보 및 이동형 수소 충전소 부지 제공 '40 까지 300개 수소 충전소 구축 계획
	<p>〈HD한국조선해양〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 켄텍, 미국선급협회(ABS), 독일 린데와 함께 '연안부유식 그린수소 생산 및 액화 플랫폼' 기술 개발 중 현대글로벌비스 등과 액화수소 운송 공급망 공동 개발 MOU 체결
코오롱그룹	<p>〈코오롱글로벌〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 탄소섬유, 에폭시를 활용한 수소저장, 운송에 필요한 압력용기 사업 추진
	<p>〈코오롱플라스틱〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 수소 저장용 고압 저장탱크, 수소탱크 내부 지지재인 수소탱크 라이너 등으로 수소 운송
효성그룹	<p>〈효성중공업〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 울산에 독일 린데그룹과 액화수소 생산 공장 완공(1만3천규모) 700Bar급 수소충전소 운영
	<p>〈효성첨단소재〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 수소 용기용 탄소섬유 생산 중, '23 기준 연 6천5백('28 연 2만4천 규모 목표)
	<p>〈효성티앤씨〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 수소용기 라이너 소재용 나일론을 독자기술로 개발
포스코그룹	<p>〈포스코〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 저장탱크/파이프라인용 강재 개발 및 생산
	<p>〈포스코인터내셔널〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 아드녹, 포스코홀딩스와 광양 액화수소 터미널 구축
	<p>〈포스코홀딩스〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 암모니아 크래킹(cracking) 기술 개발 협업
롯데그룹	<p>〈롯데케미칼〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 충남에 대규모 고압 수소 출하센터 건설('24 하반기 가동 목표)
	<p>〈롯데정밀화학〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 세계 최초 청정 암모니아 공급, 연간 암모니아 유통량 90만 톤(동북아시아 29%, 국내 66%의 점유율 보유) 탱크 8기, 규모 9만3천 톤의 암모니아 저장시설 보유(국내 최대) '22 롯데케미칼과 세계 최초로 암모니아 광분해 수소 생산 기술 공동 실증 '21 세계 최대 규모 암모니아 열분해 기술 실증(하루 2톤 수소 생산 가능)

Source: 각 사 홈페이지, 언론 보도

3) Downstream

① 유통 및 판매

수소 자체를 유통 및 판매하거나, 수소충전소 운영, 선박 및 철도 등 운송수단에 대해 수소연료 전지 등의 수소-전기 솔루션을 통합적으로 제공하는 업체들이 포함되어 있다.

표 8. Downstream 부문 국내 주요 플레이어

대기업 그룹	내용
SK그룹	<p>〈SK E&S〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 미국 플러그파워와 합작법인 'SK 플러그 하이버스' 설립, '기가팩토리' 건설 등 국내 수소산업에 총 1조원 투자 기가팩토리는 차량용·발전용 수소연료전지와 수전해설비 등을 대량 생산할 수 있는 '수소 핵심설비 생산기지'에 해당
	<p>〈SK Ecoplant〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 미국 블룸에너지와 합작법인 '블룸 SK퓨얼셀' 설립 구미에 블룸SK퓨얼셀 제조공장 준공하여 SOFC 국내 생산 시작 '22말 기준 우리나라에서만 약 380MW의 SOFC 수주 아모센스, 티앤이코리아 등 국내 기업들과 SOFC 국산화 위한 협약 체결
	<p>〈SK Gas〉</p> <ul style="list-style-type: none"> (롯데SK에너지) 롯데케미칼 울산공장 내에 부생수소 연료전지 발전소 건설('25 상반기 가동 목표) '24 상반기 세계 최초 LNG·LPG 듀얼발전소(울산 GPS) 상업가동 예정이며, 수소혼소 기술개발 실증 추진 계획 중 수소 혼소시 연간 약 5만 규모의 수소가 사용될 것으로 예상
현대차그룹	<p>〈현대자동차〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 현대모비스에서 생산하던 수소 연료전지 핵심 부품(스택 및 시스템) 생산을 이관 받는 중 수소연료전지 핵심 소재 '고분자 전해질막(PEM)' 개발 중 수소 연료전지 모듈을 발전용으로 활용하는 연료전지 발전소 시범 운영 중 '18 수소차 넥쏘 출시, '23 상반기 전 세계 수소차 판매량의 38%를 차지하며 1위 유지 중 '25 넥쏘 후속 모델 출시 계획 이동형 수소 충전소 기획·투자·설계 총괄
	<p>〈현대제철〉</p> <ul style="list-style-type: none"> '18부터 연료전지 분리판 상업 생산, 현대모비스에 공급
	<p>〈현대위아〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 수소차용 수소탱크 등 부품사업
	<p>〈현대글로벌비스〉</p> <ul style="list-style-type: none"> '26 전기트럭·수소화물트럭 등 친환경 차량 도입 확대 '30 국내용 전 업무차량 친환경차로 전환 예정 '35 무탄소 선박으로 전환 계획

대기업 그룹	내용
현대차그룹	<p>〈현대로템〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 세계 최초 수소전기트램 개발(한국자동차연구원, 한국철도기술연구원, 울산테크노파크 등), 이르면 '24 6월 대전 도입 예정 • 액화수소 기관차, FC REEV 트레일러 등 개발 중
현대중공업 그룹	<p>〈HD현대오일뱅크〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • CHPS 시작에 맞춰 20MW 규모의 수소연료전지 발전 사업 추진 및 블루수소 활용 수소연료전지 발전 사업 진행 중 • 수소 연료전지 분리막 연구 중
	<p>〈HD한국조선해양〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 연료전지 선도기업 엘코젠과 SOFC 시스템 고도화 목표로 투자 계약 체결 • 쉘, 두산퓨얼셀 등과 수소연료전지 탑재 대형선박 실증 사업 추진
	<p>〈HD현대일렉트릭〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 수소연료전지 관련 전력기기
한화그룹	<p>〈한화에너지〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 충남 50MW 규모 수소 연료전지 발전소 운영 중(세계 최초 및 최대 규모 부생수소 연료전지 발전소)
	<p>〈한화에어로스페이스〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 산업통상자원부 국책과제로 항공용 수소 연료전지 개발 중 • 국책과제로 MW(메가와트)급 수소전소 가스터빈 핵심부품 및 소재 개발 중, 이를 기반으로 기존 항공용 가스터빈 기술 활용해 친환경 수소전소터빈 개발 목표
	<p>〈한화오션〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 국내 최초 한국형 수소연료전지 탑재 예인선 연구 중('26 목표) • 미국 CB&I와 대형 액화수소 저장탱크를 선박에 적용하는 기술 개발 중 • 정부, 조선3사(한화오션, HD한국조선해양, 삼성중공업) 액화수소운반선 개발
	<p>〈한화임팩트〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 세계 최초 중대형 터빈(80MW) 수소 혼소율 59.5% 및 수소 전소(100%) 발전 실증 성공 • 수소 혼소 발전기술 보유사 지분 인수(미국 PSM, 네덜란드 토마센에너지)
두산그룹	<p>〈두산퓨얼셀〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 군산 SOFC 공장 준공(50MW) • 영국 세레스파워와 기술 협약 체결 • 코오롱글로벌과 '24부터 CHPS에 참여 계획
	<p>〈두산에너지빌리티〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 가스터빈 원천기술 기반 수소터빈 개발 중('25 50% 수소 혼소, '27 380MW급 수소 전소 목표)
코오롱그룹	<p>〈코오롱글로벌〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 수전해용 고분자 전해질막(PEM), 막전극접합체(MEA) 소재 개발 착수 • 두산퓨얼셀과 '24부터 CHPS에 참여 계획

대기업 그룹	내용
코오롱그룹	<p>〈코오롱인더스트리〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 수소차용 연료전지 핵심소재 고분자전해질막(PEM) 양산 중이며, 막전극접합체(MEA) 생산기반 마련 수소차 핵심부품 수분제어장치 공급 중
	<p>〈코오롱플라스틱〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 수소연료전지 효율성을 증진하는 하우징 부품 생산·공급 수소 저장용 고압 저장탱크, 수소탱크 내부 지지재인 수소탱크 라이너 등으로 수소 운송
포스코그룹	<p>〈포스코인터내셔널〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 수소연료전지 분리판 생산('27 1만 목표) 수소 혼소 발전 기술 도입
	<p>〈포스코〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 고유 수소환원제철 HyREX 개발
롯데그룹	<p>〈롯데케미칼〉</p> <ul style="list-style-type: none"> (롯데SK에너지) 롯데케미칼 울산공장 내에 부생수소 연료전지 발전소 건설('25 상반기 가동 목표)
효성그룹	<p>〈효성중공업〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 오스트리아 INNIO엔바허와 수소 100% 전소 수소엔진 발전기 양산 계획

Source: 각 사 홈페이지, 언론 보도



6

수소 사업의 리스크 요인

수소 사업은 파리협정에 따라 국가별 NDC를 성실히 이행하고자 하는 국제적 공감대를 기반으로 향후 시장 확대가 본격화될 것으로 전망되나, 국내는 물론 글로벌 시장으로 볼 때도 이제 막 시작되는 단계로서 다양한 사업 리스크 요인을 안고 있다. 사업자로서의 진입, 주요 시설 및 지분 투자를 검토할 시에는 이러한 리스크 요인에 대한 철저한 사전 분석과 시나리오별 대응을 미리 고민해 놓아야 사업의 성공 확률을 높일 수 있다.

수소 사업의 리스크 요인들은 다양하게 존재하나, 그 중 주요한 것들을 짚어보면 다음과 같은 5개 요인으로 요약된다.

1) 수소 수요의 불확실성

수소 수요는 혼소발전 수요, 연료전지 발전 수요, 수소 차량 수, 산업용 수소 수요 등 전방산업의 영향을 크게 받기 때문에, 전방산업에 영향을 미치는 요인들에 대한 충분한 검토가 이루어져야 한다. 특히, 혼소발전, 연료전지 발전에 있어서는 발전사가 경쟁력 있는 가격에 LCOE 및 연료비를 구성하여 수소 입찰시장에서 다른 경쟁사들을 물리치고 낙찰을 받아야만 발전이 가능하다. 현재 적자가 심화되고 있는 국내 전력산업의 고유한 특성 하에서 보급이 대중화되거나 가격이 충분히 안정화되지 않은 수소를 연료로 하여 수익성을 확보하기란 결코 쉽지 않은 일이다. 따라서, 수소 생산을 고려한다면 수요자들과의 충분한 협의를 통해 경쟁력 있는 가격의 LCOE 구현이 가능한지에 대한 협의와 타당성 검토, 나아가 공급사업 추진을 위한 적절한 참여사 구성 등이 요구된다.

2) 암모니아 도입가격의 변동성

암모니아 도입가격은 LCOE 내에서 가장 큰 비중을 차지하는 요소 중 하나로서 특히 CHPS 입찰 시장 내 가격요소 평가에 절대적인 영향을 미친다. 따라서, 발전사업자가 경쟁력 있는 수준의 LCOE

로 수소 발전을 수행하려면 암모니아 도입의 경제성이 전제되어야 한다. 이를 위해 국내 다양한 기업이 사우디, 미국, 캐나다 등 블루 및 그린 암모니아 생산이 가능한 잠재 공급사들과 접촉 중에 있으며, 그러한 사례로서 2022년 12월 국내 최초로 TÜV 인증 받은 블루암모니아가 사우디 아람코사를 통해 국내기업 롯데정밀화학에 도입된 바 있다.

문제는 암모니아의 가격 변동성이다. LCOE에서 상당한 비중을 차지하는 암모니아 도입가가 변동성이 크다면 발전사 및 수소공급사의 수익구조가 직접적인 영향을 받아 수익구조가 불안정한 패턴을 보일 수 있기 때문이다. 암모니아 가격은 주로 LNG 가격과 연동되어 움직이는 패턴을 보이는데, 최근 우크라이나 전쟁 및 이스라엘 하마스 전쟁 등의 영향에 의해 큰 변동성을 보인 바 있으며, 정치 및 지정학적 요인뿐 아니라 배관망의 문제, 해상 물류, 생산 인력 이슈 등 LNG 가격의 변동성을 확대하는 요인은 매우 다양하다.

3) 인허가 및 주민수용성

수소사업은 인수기지, 저장 탱크, 크래킹 시설 혹은 탈수소화 시설, 배관망 등을 필수 요소로 하고 있어 인허가 및 주민수용성에 매우 민감한 영향을 받는다. 항만법에 따른 항만 부지의 활용부터, 고압가스법에 따른 허가, 건축법, 수소법, 화관법의 요구사항 준수 등 실로 다양한 규제에 대응하여 인허가를 확보해야만 하는 까다로운 특성을 갖는다. 특히, 수소를 활용한 발전사업까지 고려한다면 이는 수요지의 계통망 여건과 발전사업 허가까지 필요하여 인허가 확보를 위해 사전에 충분한 시간적 고려가 필요하다.

뿐만 아니라 암모니아 도입 사업, 수소 공급 사업, 수소를 활용한 발전 사업, 수소 충전소 운영 사업, 수소 생산설비 공급 및 플랜트 EPC사업 등 다양한 비즈니스 모델에 대해 공통적으로 사업자가 느끼는 '벽'은 단연 주민수용성 문제다. 인허가의 까다로운 벽을 넘었더라도 주민수용성 확보에 실패한다면 결국 사업은 좌초될 가능성이 높기 때문이다. 혹은 인허가 자체를 위해 주민수용성의 해결이 요구되는 경우도 많다. 송도에서 수소연료전지 발전소 건립 사업이 주민의 반대로 무산된 것은 이미 잘 알려진 사례다.

4) 자금조달

수소 생산 시설은 생산 능력(Capacity)의 규모에 따라 다르지만 최소 수천억에서 조 단위의 막대한 CAPEX가 소요되어 충분한 규모의 자금이 안정적으로 조달되어야 하며, 다양한 사업자를 기반으로 SPC 기반의 사업 추진을 고려할 경우에는 지분 및 PF 자금의 조달 계획이 면밀히 검토되어야 한다. 최근 네옴 시티, 미국 IRA(인플레이션 감축법)에 따른 LNG 및 화학업종 투자 활성화, 'REPowerEU(리파워EU) 등 신재생 에너지를 중심으로 한 투자가 활성화되고 있는 추세이기 때문에 현재의 자본조달 여건은 상대적으로 긍정적인 면을 갖고 있다. 다만, 안정화되고는 있으나 고금리 시대의 현 시점에서는 PF 조달을 위한 수익률을 높게 확보해야만 하므로 다양한 시나리오를 고려한 수익 모델의 최적화는 여전히 매우 필요하다.

5) 기술 변동성

글로벌 선도 에너지사들이 탈탄소를 위한 신재생 에너지 쪽으로 점차 전환하고 있는 트렌드를 볼 때, 석탄, LNG 등 화석연료 감소와 신재생 에너지의 비중 확대는 매우 명확하고 일관된 방향으로 향하고 있다. 따라서, 자연스럽게 수소를 생산하는 방법도 장기적으로는 그린 암모니아, 그린 수소를 중심으로 재편될 가능성이 높으며, 그린 수소 관련 기술과 LCOE의 진화 속도에 대해 수소 관련 사업자는 지속적인 모니터링과 대응을 준비해 나가야 한다.



그렇다면, 수소의 주요 오프테이커인 발전사의 입장을 고려할 때, 수소사업을 추진중인 기업은 어떤 전략적 고민이 필요할까. 발전사의 수소 수요는 CHPS 정책 하의 통제를 받기 때문에 수소충전소에 대한 공급, 철강, 화학 등 산업 수요용 공급, 일반 가정 등 난방연료 공급 사업과는 다양한 면에서 특성을 달리 한다. 전략 수립 시에는 이런 발전사와 기타 수요자의 특성을 고려한 수립이 이루어져야 한다.

1) 오프테이커의 발굴과 사전 협의 추진

화석연료의 사용이 주를 이루던 과거부터 신재생 에너지가 중요해진 지금에 이르기까지 수소 산업의 발달이 더딘 이유는 기술적인 성숙도가 부족했던 부분도 있으나, 사업을 타당하게 할 만큼의 대형 오프테이커가 없었기 때문으로 보는 것이 더 타당할 것이다. 수소는 범용적 재화가 아니고 활용분야가 제한되는 특수한 제품에 해당하므로, 판로 개발은 사업의 초기 등 이른 시점부터 진행되어야 한다. 따라서 오프테이커와의 협의에 따라 사업자의 예상 생산 물량, 오프테이커의 혼소터빈의 적용 범위, 혼소율 등을 고려한 수소 수요계획이 가능한 범위 내에서 명확해져야 한다.

2) 수소 사업계획 수립

발전사 등 오프테이커를 고려한 수소 수요 조사와 협의가 되었다면 이를 반영한 부지 확보, 인허가 확보 가능성 검토, 예상 물량 산출, 예산 수립 등 수소 생산을 위한 초기 계획이 수립되어야 한다. 여기에는 원료 조달과 시설 규모와 유형, 생산량, 공사 예산 등이 기본적으로 포함되나 암모니아 도입, 플랜트 구축, 수소 생산, 운송 및 저장 등 다양한 업체와의 파트너십 계획이 반영되어야 한다. 한화그룹의 경우에는 높은 수준의 수직계열화를 구축해가고 있으나, 대부분의 기업은 단일 기업 혹은 그룹의 역량만으로 수소산업의 전범위 밸류체인을 담당하기에는 한계가 있다.

3) 타당성 평가 수행

사업 전략이 수립되었다면 면밀한 타당성 평가가 수행되어야 한다. 계획한 업체들이 각자의 역할을 통해 가격과 생산량을 산출했다고 할 때, 원료 도입가, EPC 예산, 배관 등 운송비, 수소 판가를 적용했을 때 사업자가 투자를 결정할 수 있는 수준의 수익성이 예상되어야 하며, 사업 규모도 예산 확보가 가능한 수준이어야 한다.

수소 생산비용과 원료 도입가격, 이에 따른 수익성의 다양한 추정 결과 이외에도 CHPS에서 요구하는 경제적 사회적 타당성을 함께 추정해 보는 것을 권장한다.

4) CHPS 입찰시장의 낙찰 가능성 제고방안 수립(오프테이커가 발전사인 경우)

CHPS 시장에 입찰하는 건 발전소지만, 결국은 입찰에 참여하는 수소공급 밸류체인 내 다양한 기업들의 영향을 강하게 받는다. 이는 전력거래소가 제시한 낙찰자 선정 기준을 보면 확인이 가능한데, 60%의 가격요소 이외에도 환경성, 산업 및 경제 기여, 사업 신뢰도, 주민 수용성, 계통 환경 고려 등을 제시하고 있다. 국내 발전사는 CHPS 입찰시장에서 일단 계약물량을 낙찰 받아야 수소를 구매하여 혼소 발전을 할 수 있으므로, 결국은 CHPS의 낙찰자 평가기준을 면밀히 살펴봐야 한다.

표 9. CHPS 청정수소발전시장 낙찰자 평가기준

영역	평가방식	비중	평가기준 및 내용
가격요소	최저입찰 대비입찰가 금액비	60%	총 LCOE(고정비 + 연료비의 합)을 입찰 시 제출 (최저 입찰가/해당 입찰가) × 60%
비가격 요소	정량/정성	40%	① 환경기여도: 발전 후 잔여 탄소 배출, 청정수소 인증제에 따른 등급 ② 산업·경제 기여도: 인프라 설비의 국내산업 기여도, 고용 효과 ③ 사업 신뢰도: 연료개발 참여율, 공급선 등 조달계획, 발전사 신용도 ④ 주민 수용성 및 사업진척도: 발전사업허가, 발전기 및 인프라 수용도 등 ⑤ 계통 여건: 기준 구체화 중

Source: 전력거래소

발전 후 잔여 탄소배출과 수소 생산과정의 청정수소 인증 등급이 핵심이며, 특히 그린 수소 혹은 CCS를 높은 비율로 수행한 공급망이 가장 유리하다. 1등급은 일부 그린수소를 제외하면 사실상 어렵다고 본다면, 대부분의 응찰자는 2~4등급을 받은 채 입찰에 참여할 것이다. 1, 2등급은 고정적 점수가 주어지지만 3, 4등급은 탄소배출량에 따라 선형적으로 점수가 부여된다는 점도 기억해야 한다.

산업 경제 기여도를 위해서는 다양한 국내 업체 기술을 적극적으로 활용하여야 한다. Air Liquid, Linde, Thyssen Krupp, Air Product 등 글로벌 기업들이 기술 개발과 레퍼런스를 보다 적극적으로 개발해 왔던 것은 사실이지만, 사업에 필수적인 라이선스를 제외하면 역량 있는 국내 EPC 업체의 활용이 평가 상으로는 유리하다.

해외에 수소나 암모니아 프로젝트를 개발 혹은 투자하고 있다면 더욱 높은 평가를 받을 수 있다. CHPS는 정부에서도 처음 시도하는 사업으로, 발전사업자가 제시한 계획이 차질 없이 안정적으로 수행되는 것이 무엇보다 중요하다. 이를 위해서 공급선이 확장된 업체가 보다 안정적이고 싸게 연료를 조달할 수 있다고 보는 것이다.

해당 주민과의 마찰을 줄이기 위해 다양한 주민 보상과 지역사회 기여 방법을 준비하여 끊임없이 지역과 협의해 나가야 하며, 수급 불균형이 심화되고 계통 여건이 좋지 못한 지역에서는 사실상 발전사업 허가나 혼소 발전 계획으로 낙찰 받기가 더욱 어렵다는 점도 고려해야 한다.

5) 대체 수요 개발 및 성장 전략

수소연료전지 발전소, 자동차용 수소 충전소, 산업계 수요 등 수소를 활용 가능한 기업들을 대상으로 고려한 다양한 생산, 운송방법, 입지 등을 종합적으로 고려하여 발전소 이외의 수요를 발굴하기 위한 조사와 수요 개발 전략 수립이 필요하며, 이를 토대로 사업의 확장과 투자 계획 연계, 안정적 사업 규모와 수익성 추구가 가능하다. 이를 포함해 수요, 밸류체인, 생산기술 등의 변화를 고려한 중장기적인 성장 전략까지 수립한다면 보다 유연하면서도 명확한 방향성을 갖는 사업 추진이 가능할 것이다.

수소 사업은 신재생 에너지만으로는 달성하기 어려운 탄소 중립의 대안이자 유망한 미래 에너지 사업 영역이다. 점차 수소 사업이 본격화되고 다양한 투자가 이루어지고는 있으나, 아직까지 뚜렷한 성공 사례나 산업 내 축적된 경험이 충분하지 않은 미지의 영역이기도 하다.

수소 사업 진입을 검토 및 준비하는 사업자 또는 수소 사업을 진행중인 사업자라면, 자사, 그룹 계열사, 협력업체 등 다양한 네트워크를 활용하는 것이 매우 중요하다. 삼일회계법인은 Energy Transition Center를 보유하여 타당성 검토, 시장 분석, 사업 전략 수립, M&A 자문, 프로젝트 파이낸싱 자문 등 단계별, 고객의 사업 성숙도에 맞춰 차별화된 서비스를 제공하고 있다. 수소 사업에 있어서 최적의 파트너로 함께 하기를 기대한다.

1) Energy Transition Center 서비스 영역

1. 타당성 검토 및 사업계획 수립 지원



- 수소 생산, 저장, 운송 등 프로젝트에 대한 경제적 타당성 검토
- 사업 타당성 분석 및 최적 사업화 방안 수립 지원
- 수요처 연계 및 공급망 설계를 통한 사업 계획 고도화

2. 수소 사업 전략 수립



- 암모니아, LOHC, 액화수소 등 원재료 시장 분석
- 수소 수요 분석 및 개발
- 수소 사업 경쟁력 강화 전략

3. 파트너 탐색 및 전략적 제휴 자문



- 수소 생태계 기업 간 기술 및 사업 보완성을 갖춘 국내외 파트너사 서치
- 사업 파트너 간 지분투자, 합작법인 설립 등 전략적 제휴 자문
- 계약서 검토 및 세무/회계 측면 이슈 자문

4. 인수합병 자문



- 수소 기업 및 기술 M&A를 위한 Target Screening
- 재무/세무 실사 및 가치평가를 통한 인수가격 산정
- 해외 수소 선도국 소재 글로벌 회계법인과의 네트워크를 활용한 공동 대응
- 최적 투자구조 설계 및 계약 체결 자문

5. 프로젝트 파이낸싱 자문



- 수소 프로젝트에 특화된 PF 최적 구조 설계
- ECA 금융, 녹색금융 등 정책금융 연계 자문
- 재무 모델링 및 SPC 설립 자문

6. ESG 관련 자문



- 수소 사업의 ESG 측면 영향도 진단 및 개선 방안 수립
- 수소 관련 국내외 ESG 공시 기준 대응 자문
- ESG 관련 정부 인센티브 활용 방안 자문

7. 사업 재편 자문



- 수소 사업부문 분할 및 매각 자문
- 사업 포트폴리오 진단 및 조정 방안 수립
- PMI 서비스

2) Energy Transition Center 주요 전문가



김병일 Partner
Public Sector



이정규 Partner
Public Sector



유옥동 Partner
Public Sector



임지산 Partner
Public Sector



한정탁 Partner
Deals



서용태 Partner
Deals



김흥현 Partner
Tax



소주현 Partner
Tax

참고문헌

- IEA, World Energy Outlook, 2023.10
- UNFCCC, Paris Agreement, 2015.12
- IEA, The Future of Hydrogen, 2020
- 에너지경제연구원, 세계 에너지시장 인사이트, 2023.9
- 산업통상자원부, 제 10차 전력수급기본계획, 2023.1
- 산업통상자원부, 제 1차 수소경제 이행 기본계획, 2021.11
- 전력거래소, 청정수소발전시장 사업자 설명회, 2024.2
- 전력거래소, 2023년 상반기 일반수소발전 입찰시장 경쟁입찰 공고, 2023.6
- 산업자원부, 청정수소 인증제 운영방안, 2023.12
- 과학기술정보통신부, 수소기술 미래전략, 2022.11
- KEMRI, 전력경제 Review, 2022.10

Contacts

한정탁 Partner

jungtak.han@pwc.com

02-3781-0165

유옥동 Partner

ok-dong.yu@pwc.com

02-3781-0128

www.samil.com

삼일회계법인의 간행물은 일반적인 정보제공 및 지식전달을 위하여 제작된 것으로, 구체적인 회계이슈나 세무이슈 등에 대한 삼일회계법인의 의견이 아님을 유념하여 주시기 바랍니다. 본 간행물의 정보를 이용하여 문제가 발생하는 경우 삼일회계법인은 어떠한 법적 책임도 지지 아니하며, 본 간행물의 정보와 관련하여 의사결정이 필요한 경우에는, 반드시 삼일회계법인 전문가의 자문 또는 조연을 받으시기 바랍니다.

S/N: 2403C-RP-023

© 2024 Samil PwC. All rights reserved. PwC refers to the PwC network and/or one or more of its member firms, each of which is a separate legal entity. Please see www.pwc.com/structure for further details.