

REPORT
에너지산업 대전환 시대,
수소에너지 개발 및 적용 현황

ISSUE
성큼 다가온 수소 생태계

올해의 산업혁신기술상
탄소중립 사회 실현 이끌 국가대표급 CO₂ 포집
기술개발_ 한국전력공사 전력연구원

테크 플러스
클린 모빌리티 기술혁신,
수소전기차

3

Vol. 114
MARCH 2023

NEW TECHNOLOGY
OF THE MONTH

이달의 신기술

탄소경제에서 수소경제로 전환하는
그레이 수소부터
그린 수소까지

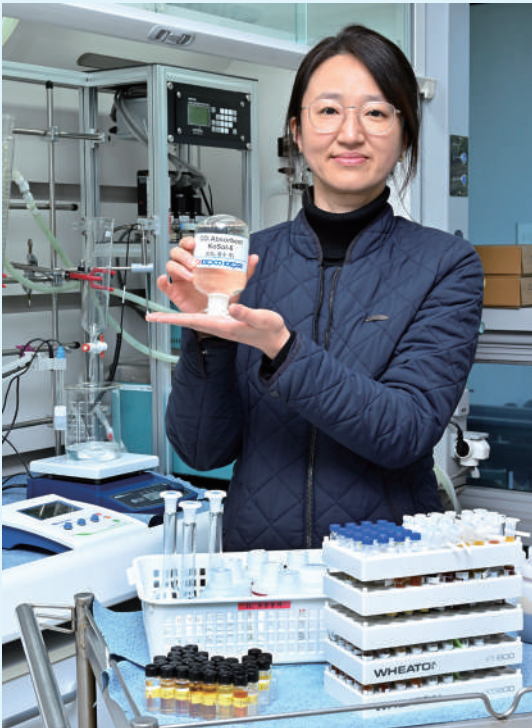


9 772288 490002
ISSN 2288-4904 ₩6,000

CONTENTS

SPECIAL

- 04 REPORT
에너지산업 대전환 시대,
수소에너지 개발 및 적용 현황
- 10 ISSUE
성큼 다가온 수소 생태계
- 16 카툰
초코송이의 신기버스_H₂



- 18 올해의 산업혁신기술상_ 한국전력공사 전력연구원
탄소중립 사회 실현 이끌 국가대표급 CO₂ 포집 기술개발
- 22 이달의 기술
한국전자기술연구원, (주)미래와도전, (주)유니락, (주)레이
- 30 R&D 프로젝트_ 세호마린솔루션즈(주)
저탄소·친환경 요구를 충족할 수소 추진 선박 기술
- 34 R&D 기업_ 피엔피에너지텍(주)
사람 중심 친환경 에너지 기술 기업
- 38 COLUMN
대규모 장거리 수소 운송 및 저장 기술
- 44 인터스트리
수소를 통한 에너지 패러다임 전환
- 48 경제 동향
민간 생태계 구축, 전략적 협업 긴요



MARCH

- 54 테크플러스
클린 모빌리티 기술혁신, 수소전기차
- 58 R&D 인터뷰_문재도 H2KOREA 회장
대한민국 수소 생태계 구축 위한
가교 역할 톡톡히 해내다
- 62 TREND
수소 도시 조성 사업으로 지역 경제 활력
- 64 프런티어_문준환
차세대 반도체 배선 물질을 찾아라!
- 68 CLUB
서울과학기술대학교 적정기술 동아리
ATST



- 72 SPOT
용인시 기후변화체험교육센터
- 76 테크컬처
에너지를 정복하는 자, 세계를 정복하라!
<디멘션 W>
- 78 R&D 관련 구인 및 구직
- 80 NEWS



등록일자 2013년 8월 24일 발행일 2023년 2월 28일
발행인 한국산업기술평가관리원 원장 전윤종
발행처 한국산업기술평가관리원, 한국산업기술진흥원, 한국에너지기술평가원, 한국공학한림원
주소 대구광역시 동구 첨단로 8길 32(신서동) 한국산업기술평가관리원
후원 산업통상자원부
편집위원 산업통상자원부 박용민 과장, 임태섭 서기관, 신홍섭 사무관, 이영열 사무관,
김선영 사무관, 고운정 사무관, 김경아 주무관, 유유미 주무관
한국산업기술평가관리원 서용원 본부장, 이정화 팀장, 나소미 전임
한국산업기술진흥원 김정욱 본부장, 박천교 단장, 김진하 팀장
한국에너지기술평가원 이성주 본부장
한국산업기술문화재단 곽진철 부이사장
한국공학한림원 남상욱 사무처장

편집 및 제작 한국경제매거진(02-360-4859)
인쇄 ㈜영남프린텍(053-964-1700)
구독신청 02-360-4859
chojh@hankyung.com
문의 한국산업기술평가관리원(053-718-8251)
잡지등록 대구등, 라00026

※ 본지에 게재된 모든 기사의 저작권은
한국산업기술평가관리원이 보유하며,
발행인의 사전 허가 없이는 기사와 사진의
무단 전재, 복사를 금합니다.

SPECIAL

HYDROGEN



HYDROGEN

REPORT

에너지산업 대전환 시대,
수소에너지 개발 및 적용 현황

미래 청정에너지
수소

ISSUE

성큼 다가온 수소 생태계

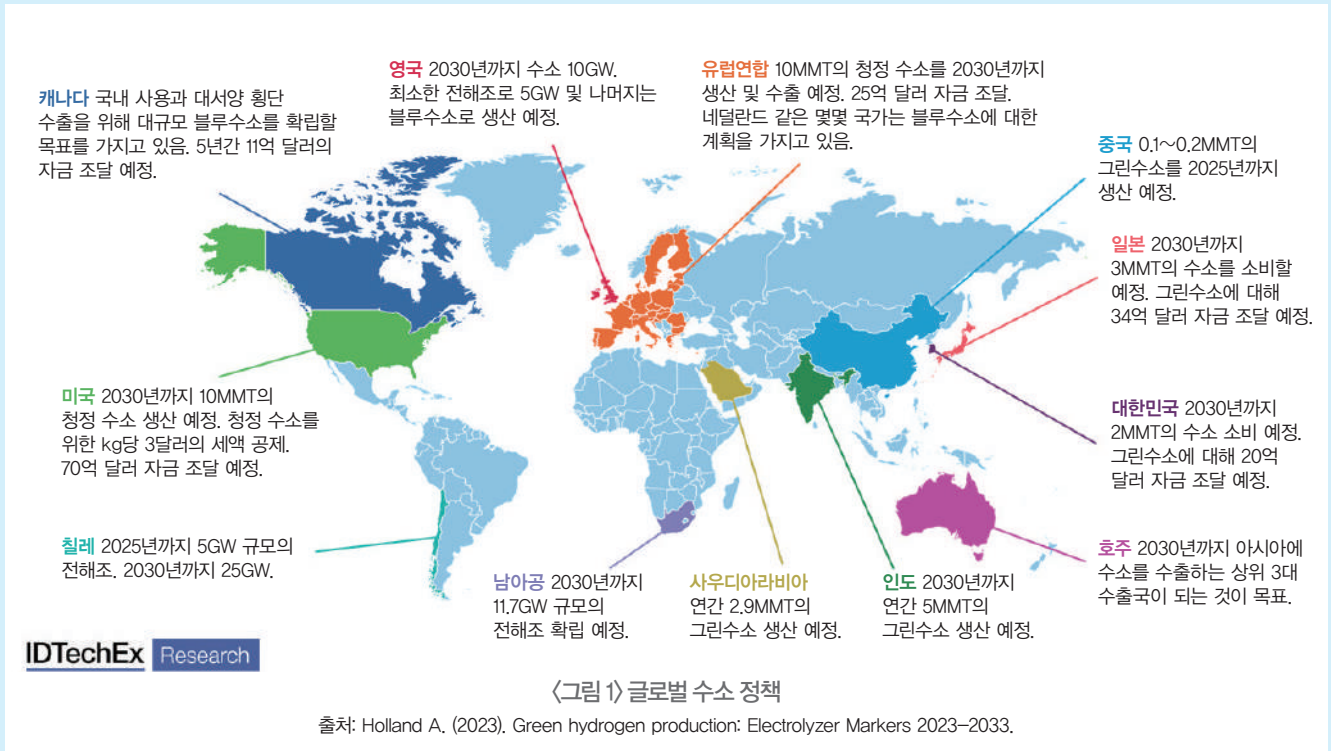
카툰으로 보는 수소

에너지산업 대전환 시대, 수소에너지 개발 및 적용 현황

수소는 현재의 글로벌 에너지 전환 체제에서 수전해, 연료전지, 수소 선박, 수소차, 수소 터빈 기술 개발을 바탕으로 다양한 산업 영역에 적용되고 있다. 에너지산업 대전환 시대를 맞아 수소 관련 에너지 개발과 산업 적용 현황을 살펴본다.

✍ 이우형 [센트럴플로리다 대학교 부교수], 김은정 [한국산업기술진흥원 미국(워싱턴D.C) 거점 소장]





에너지산업 대전환 시대의 수소경제

지금 세계는 탄소경제에서 수소경제로 전환되는 에너지산업 대전환 시대를 맞고 있다. 즉 탄소중립과 에너지 자립에 있어 수소가 핵심 역할을 할 것으로 예상되며, 이에 따라 국가의 정책적 지원은 물론 글로벌 에너지 기업 역시 수소 관련 사업 영역을 확대하고 있다. 2022년 기준 수소 로드맵을 발표한 국가는 전 세계 30개국으로, 앞으로도 수소경제 도입 정책을 발표하는 국가는 계속 늘 것으로 전망된다(그림 1).

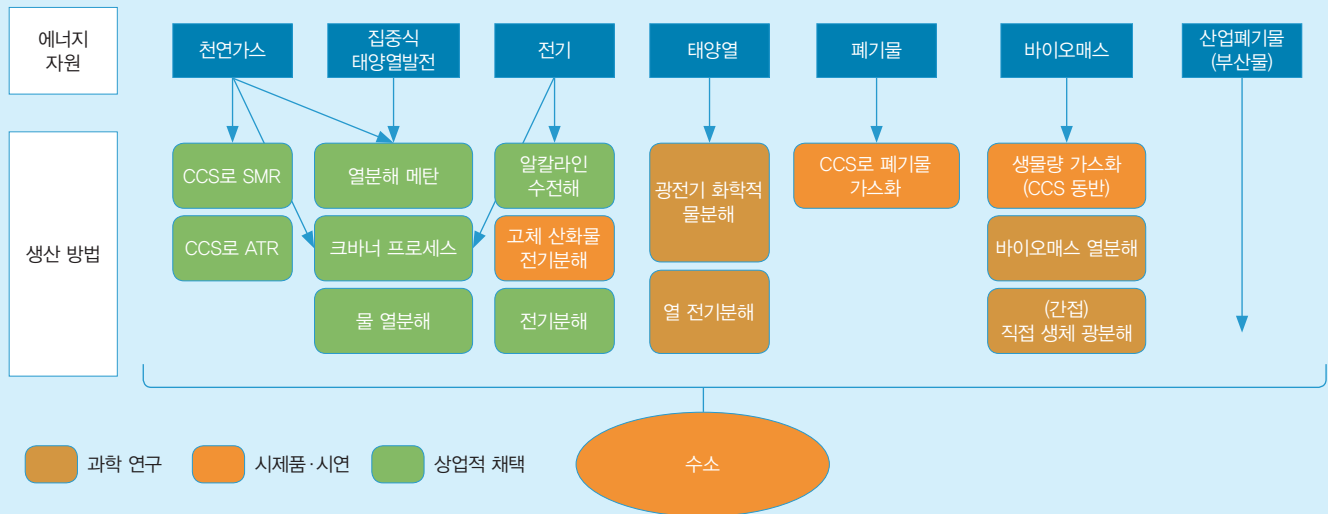
현재 수소 생산의 95% 이상이 화석연료 기반으로, 전 세계 천연가스의 6%와 석탄의 2%가 수소 생산에 사용되고 있다. 그럼에도 불구하고 친환경 수소 생산 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 이는

발전, 제강, 시멘트 생산 등 산업의 제조 공정, 전기자동차용 연료전지, 해운과 같은 중량물 운송, 비료용 녹색 암모니아 생산, 세정제 등 다방면으로 수소의 활용 가능성이 확대되고 있기 때문이다. 또한 탄소세나 기타 인센티브는 화석연료에 비해 수소의 경제성을 향상시킬 수 있지만, 수소가 전력 부문에서 광범위하게 채택되기 전에는 장거리 운송, 해상 운송 및 산업에서 먼저 사용될 것으로 예상된다.

수소 생산 분야

수소는 1차 에너지원은 아니지만 다양한 방식으로 생산할 수 있으며, 각각 다른 색상으로 식별할 수 있다. 일반적으로 재생가능 에너지를 이용해 전기분해로 생산하는 수소를 그린수소, 수증기로

석탄가스화한 후 나오는 수소를 브라운 수소라고 한다. 일반 화석연료(천연가스 등)에서 생산하는 경우 그레이수소, 이산화탄소(CO₂)를 포집·저장하는 과정(CCS)을 통해 메탄에서 수소를 생성하는 경우엔 블루수소라 부른다. 수소는 이미 산업계에서 널리 사용되고 있는데, 현재 연간 약 120Mt의 그레이수소를 생산해 주로 정제 산업과 암모니아를 생산하는 데 쓰고 있다. 또 이를 지원하는 전용 수소 파이프라인을 수십 년간 운영하고 있다. 사실 대규모로 수소를 생산하고는 있으나 아직 친환경적이지는 않다. 이 때문에 그린수소는 미래 변환 에너지 시나리오에서 더욱 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 〈그림 2〉는 현재 저탄소 수소 생산 방법의 개략적인 모식도다.



〈그림 2〉 저탄소 수소 생산 방법

출처: McWilliams and Zachmann(2021). Navigating through Hydrogen. Policy Contribution. 08/2021, Bruegel.

수전해 시스템

청정 및 그린수소 산업 개발에 대한 관심이 다시 높아지면서 아이디테크이엑스(IDTechEx)는 수전해질 시장이 2033년까지 1200억 달러 규모로 성장할 것으로 예측했다. 유럽연합(EU)의 리파워(RePower EU)나 미국의 인플레이션 감축법(IRA)은 향후 10년 동안 청정 수소 생산 및 소비를 크게 늘리도록 했다. 한국, 일본을 포함한 국가들의 야심찬 수소 전략도 나오면서 그린·블루수소 생산 시스템, 저장 및 유통을 위한 인프라 개발, 수소 사용 장려에 상당한 공적자금을 투입할 것으로 예상된다. 현재까지 알칼리성 물 전해조(AWE), 양성자 교환막 전해조(PEMEL), 고체 산화물 전해조(SOEL) 등 세가지 유형의 전해조가 개발됐다. 알칼리 전해조는 아유원(Ayun), 롱기 하이드로젠(LONGi Hydrogen), 존 코커릴(John Cockerill), 티센크루프(Thyssenkrupp) 등 중국과 유럽의 대형

제조업체에서 가장 널리 상용화된 전해조다. 수전해를 활용한 수소 생산의 원리(물과 전기를 사용해 물을 수소와 산소로 분리)는 동일하나, 두 전극 사이에서 교환하는 서로 다른 이온(AWE, PEMEL 및 SOEL에 대해 각각 OH^- , H^+ 및 O^{2-}), 사용된 전해질 및 전극 재료, 스택 설계 및 시스템 설계는 세가지 시스템 각각 다르다. AWE 시스템은 1920년대에 처음 설치된 이후 수소 생산 산업에서 가장 많이 채택됐다. PEMEL 시스템은 2000년대 설치됐고, 최근 SOEL이 시장에 진입하기 시작했다.

PEMEL은 비싼 데다 아직 상용화 초기 단계이긴 하지만, 자본 비용이 점차 줄고 있다. 이에 따라 알칼라인 시스템보다 더 높은 출력 밀도와 더 큰 동적 범위 등 유리한 성능 특성을 보유해 높은 시장점유율을 확보할 것으로 전망된다. SOEL은 고온에서 작동해 더 높은 총효율을 제공하지만 비싸고 수명이 짧아 아직은 상용화

초기 단계에 머물러 있는 상태다. 덴마크의 톱소(Topsoe)는 2024년 500MW SOEL 제조시설 가동을 목표로 알카라인 제품과 함께 SOEL 시스템 구현을 추진하고 있다. 미국의 블룸에너지는 고체 산화물 연료전지 기능을 활용해 전해조 시장 진입을 노리고 있다. 하지만 아직까지 SOEL 개발에 적극적으로 참여하는 회사는 알카라인 또는 PEMEL 시스템에 비해 훨씬 적다.

수소 터빈

수소가스 터빈은 환경 및 경제적 이점이 많아 가와사키중공업, 지멘스, 제너럴일렉트릭, 미쓰비시중공업 등이 치열한 경쟁을 벌이고 있다. 수소가스 터빈은 기존 발전 시설에 장착할 수 있으며, 액체 수소에서 암모니아에 이르기까지 어떤 형태로든 운반할 수 있는 수소로 작동할 수 있다는 장점이 있다.

유럽이 무탄소 미래 경제로 전환함에



〈그림 3〉 일본 고베에 있는 가와사키 공장의 수소가스 터빈

출처: Arata Shigeno, Kawasaki Heavy Seeks to Propel Hydrogen Turbine Demand in Europe.

따라 최근 가와사키중공업은 유럽에서 수소 추진 터빈의 수요를 높이고자 기존 가스 구동 시설을 업그레이드할 것을 제안했다. 가와사키는 현재 소형 천연가스 터빈에 대한 독일 내 시장점유율 약 50%를 포함해 유럽에서 확고한 고객 기반을 유지하고 있으며, 다중형 터빈의 출력용량은 3만kW다. 이는 약 6만 가구가 쓸 전기에 해당된다(그림 3). 유럽의 발전용 수소 수요는 2030년 약 10만t에 달할 것으로 예상된다. 터빈 출력으로 환산하면 50만kW에 해당하는데, 가와사키는 유럽 내 점유율 20% 확보를 목표로 하고 있다. 대형 터빈을 포함한 천연가스 터빈 시장은 지난 10년 동안 차츰 축소되고 있는 상황이다. 재생에너지의 보조 동력원

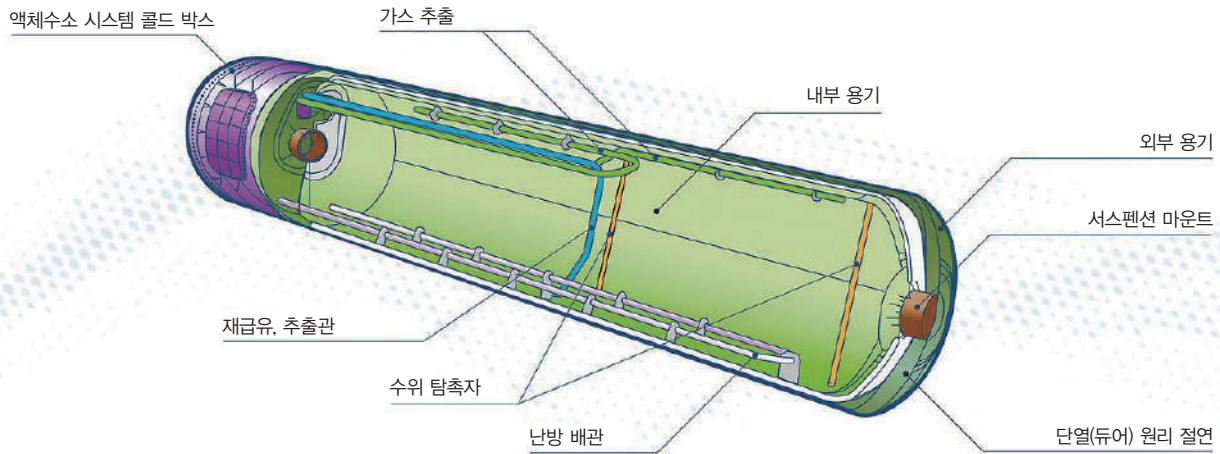
으로 수소 터빈의 쓰임새가 확대되고 있으며, 러시아의 우크라이나 침공으로 러시아산 화석연료 수입에서 벗어나는 계기가 됨에 따라 수소 터빈으로 빠르게 전환될 것으로 보인다.

수소차

현재 토요타, 현대, 혼다, BMW 등 대형 자동차 회사는 수소 기반 자동차 기술 개발에 막대한 자본을 투입하고 있다. 전 세계가 탈탄소화를 목표로 정책을 설정함에 따라 수소가 '녹색'으로 분류되려면 재생가능에너지로 전기를 생산해야 한다. 전기자동차와 수소자동차의 경우 에너지원은 모두 태양광, 풍력 같은 재생가능에너지다. 하지만 수소차는

전기차와 마찬가지로 전기모터와 배터리가 필요하며, 수소 저장용 탱크와 수소를 전기로 변환시키는 연료전지가 있어야 한다. 디자인 비교 시 수소차가 훨씬 더 복잡할 뿐 아니라 에너지 손실 측면에서도 비효율적이다. 열역학 측면에서 수소차를 운행하기 위해 동일한 출력을 얻으려면 전기차에 비해 3~5배 더 많은 재생가능에너지가 필요하다. 이는 수소차의 연료 비용이 전기차보다 최소 3~5배 높다는 것을 의미한다. 전기차는 분산형 에너지 시스템인 반면, 수소차는 중앙집중식 에너지 시스템이다. 즉 수소는 고도로 중앙집중화돼 있으며 독점적인 화석연료 동력 시스템을 사용한다고 볼 수 있다.

Liquid H₂ Tank



AIRBUS

〈그림 4〉 에어버스 극저온 액체수소 탱크

출처: Halvorson, B. (2023) Could Hydrogen Fuel-cell Tech Replace Aircraft Jet Engines? Green Car Reports, Jan. 17, 2023

해양 및 항공 분야 적용

수소 비행기

상업용 항공 여행은 전 세계적으로 온실가스 배출량의 약 2%를 차지하며, 미국에서는 온실가스 배출량의 3% 이상, 총 운송 배출량의 약 10%를 차지하고 있다. 요즘 자동차 배터리 기술은 아직 장거리 상업 노선이나 더 큰 비행기를 운항하는 데 필요한 정도로 에너지밀도가 높지 않다. 수소 저장 역시 항공기에 필요한 에너지 밀도를 활용하려면 새로운 종류의 솔루션이 필요하다. 현재로서는 전기 및 순수 수소 항공기는 특히 단거리 노선에서 탈탄소화의 중요한 견인차가 될 수 있다. 에어버스는 최근 향후 4년 이내에 극저온

수소를 저장한 수소연료전지 기술을 토대로 대규모 여객기용 ‘메가와트급 추진 시스템’을 설계, 구축 및 시연할 계획이라고 발표했다. 물론 이것은 수소연료전지 기술로 제트엔진을 완전히 대체한다는 의미는 아니지만, 내연기관이 자동차에서 완전히 사라지기 전에 미리 작은 규모로 일부 제트엔진을 대체할 수 있음을 의미한다.

수소연료 사용에는 다음의 세 가지 옵션이 있다. 첫째, 수정된 가스 터빈엔진에서 수소를 사용하거나 둘째, 수소연료전지를 사용해 전력을 생성할 수 있다. 셋째는 이 두 가지를 조합해 사용할 수 있다. 이러한 경우 풍력 및 태양열과 같은 재생가능에너지에서 수소를 생산할 수

있고, 연료전지-EV 경로로 이동한다면 효과적으로 탄소배출량을 줄일 수 있다. 700bar와 같은 높은 압력에서 수소를 저장하는 일은 쉽지 않지만, 극저온(영하 253°C 미만)으로 수소를 저장하면 에너지밀도가 높은 액체가 될 수 있다(그림 4). 다만 현재 기술로는 4L의 액체 수소는 표준 제트 연료 1L밖에 되지 않으므로 아직 표준 제트 연료와 동일하게 사용하기에는 제약이 따른다. 또한 상업용 항공기는 이착륙을 2만 번 견뎌야 할 뿐 아니라 액체수소를 더 오래 유지해야 하기 때문에 안전 및 내구성 요구 사항은 우주 발사기보다 더 엄격할 수 있다. 따라서 복합 재료 개발 및 적용에 치중해야 할 필요가 있다.

수소 선박

수소는 직접 연료로 사용할 수 있다. 예를 들면, 수소를 연료로 사용하는 대양 횡단 선박은 톤킬로미터당 약 0.98g의 CO₂eq를 배출하는 반면 기존의 중유 탱커에서 배출되는 CO₂eq는 톤킬로미터당 약 5.33g인 것으로 연구됐다.

초냉각 수소를 운반할 선박을 건조하는 것은 수소 사용을 위해 필요한 많은 요인 중 하나이며, 기후변화에 대처하기 위해 세계가 탈탄소화하는 데 도움이 되는 열쇠로 여겨진다. 지난해 1월 일본 선박 건조 업체 가와사키중공업이 건조한 수이소 프린티어호는 호주에서 일본으로의 시험 운항을 성공적으로 마쳐 액체 수소 운송이 기술적으로 실현 가능하다는

것을 증명해 보였다<그림 5>. 운항 도중 제어 시스템의 전원공급장치 사양이 잘못돼 가스 연소장치의 자동밸브가 손상되는 문제를 발견했는데, 이를 통해 수소를 보다 안전하게 사용할 수 있는 정밀한 결함 감지 시스템의 필요성이 강조됐다. 즉 오작동 시 위험을 방지하기 위해 자동화된 선상 운영 시스템에 안전 제어 장치를 탑재하는 것이 중요하다. 가와사키중공업은 상업용 규모의 수소 운반선을 지속적으로 건설해나갈 계획이다.

수소경제 이끌 프레임워크 설정해야

청정 수소는 다른 방법으로는 저감하기 어려운 부문을 탈탄소화하는 데 중요한

역할을 하고, 국제 환경 목표에 기여하는 독특한 위치를 차지할 것이다. 수소 수요는 운송 및 산업 응용 등 광범위한 부문에서 나타날 것이다. 특히 항공 및 운송 부문에서 수소가 2030년 이후 탈탄소화에 중요한 역할을 할 것으로 예상된다. 잠재적으로도 재료 집약적 저탄소 전환이라는 더 넓은 맥락을 염두에 두고 청정 수소 개발 시 재료 및 소재의 재활용과 재사용 촉진, 재료 집약도 감소, 재료 대체 및 순환 설계가 필요해 보인다. 정부와 민간 모두 올바른 정책 프레임워크 설정에서 기술 이전 구현, 효율성 및 신기술에 대한 혁신·투자에 이르기까지 수소경제를 이끌기 위한 역할이 절실하다.



<그림 5> 일본 가와사키중공업이 건조한 세계 최초의 수소 운반선 수이소 프린티어호.

출처: Paul, S. (2023) Safety Improved on World's First Liquid Hydrogen Carrier after Malfunction, Reuters, Feb. 6, 2023.

성큼 다가온 수소 생태계

세계 수소 시장은 2017년부터 연평균 6%대 성장률을 보이고 있으며, 2050년께 2조5000억 달러 규모 시장이 창출될 것으로 예상된다. 국내 기업들도 앞다퉀 수소 사업에 진출하며 정부도 수소 산업을 육성하기 위해 지원을 아끼지 않고 있다.

한국경제신문 공동취재팀

❖ 수소 산업 전시회에서 본 수소 기술 및 제품

경기 고양 킨텍스에서 지난 2022년에 열린 수소 산업 전시회 'H₂ MEET'에 세계 16개국 241개 기업과 기관이 참여해 주로 수소 생산·저장·운송과 수소를 활용한 기술·제품을 선보였다. 국내 기업으로는 현대자동차·SK·포스코·효성·두산·코오롱그룹과 고려아연 등이 수소 사업 역할을 뽐냈다.

전시회에서 관람객의 이목을 집중시킨 현대차의 수소 멀티콥터 드론은 수소연료 시스템과 배터리를 동시에 이용해 먼 거리를 효율적으로 이동할 수 있도록 설계된 지름 6m의 기체다. 이 드론은 최대 이륙 중량이 700kg에 이른다. 수소드론 외에도 현대차의 수소전기 경차 버스가 눈길을 끌었다. 이 버스는 2개 수소연료전지로 구성된 180kw급 연료전지 스택이 장착됐다. 완충 때는 550km까지 주행할 수 있다. 또 운전자 포함 최대 29인이 탑승할 수 있다. 실내 후방과 버스 하부에 4.9m² 크기의 화물실도 별도로 마련됐다. 도심 공회전으로 소음과 배기가스 배출이 적잖은 기존 디젤 경차 버스를 대체하면 대기질 향상에 도움이 될 것으로 예상된다.

그룹의 다른 계열사인 현대모비스는 수소연료전지 파워팩이 탑재된 엠비전 터그 차량을 선보였다. 터그차는 공항에서 항공기 계류 작업이나 수하물을 운송하는 차량이다. 2030년까지 수소 기반 철강 생산체제로 전환하겠다고 밝힌 현대제철은 수소 기반 탄소중립 제철 공정 모형과 수소전기차의 핵심 부품인 수소연료전지 금속 분리판을 전시했다. 수소연료전지 금속 분리판은 수소전기차의 연료전지 스택에 공급되는 수소와 공기를 분배하고 발생한 전기를 전달하는 수소전기차의 핵심 부품이다. 현대제철은 2018년부터 수소전기차 넥쏘에 적용된 2세대 금속 분리판을 공급하고 있다.

❖ 포스코, 수소 사업 개척

포스코그룹은 포스코·포스코인터내셔널·포스코건설·포스코에너지·포스코모빌리티솔루션·포항산업과학연구원(RIST) 등 그룹사 여섯 곳이 함께 수소 생산·운송·

활용 등 수소 산업 전반에 걸친 제품과 기술력을 선보였다. 포스코는 철을 생산하는 과정에서 석탄 대신 수소를 활용하는 기술인 수소환원제철 모형을 전시했다.

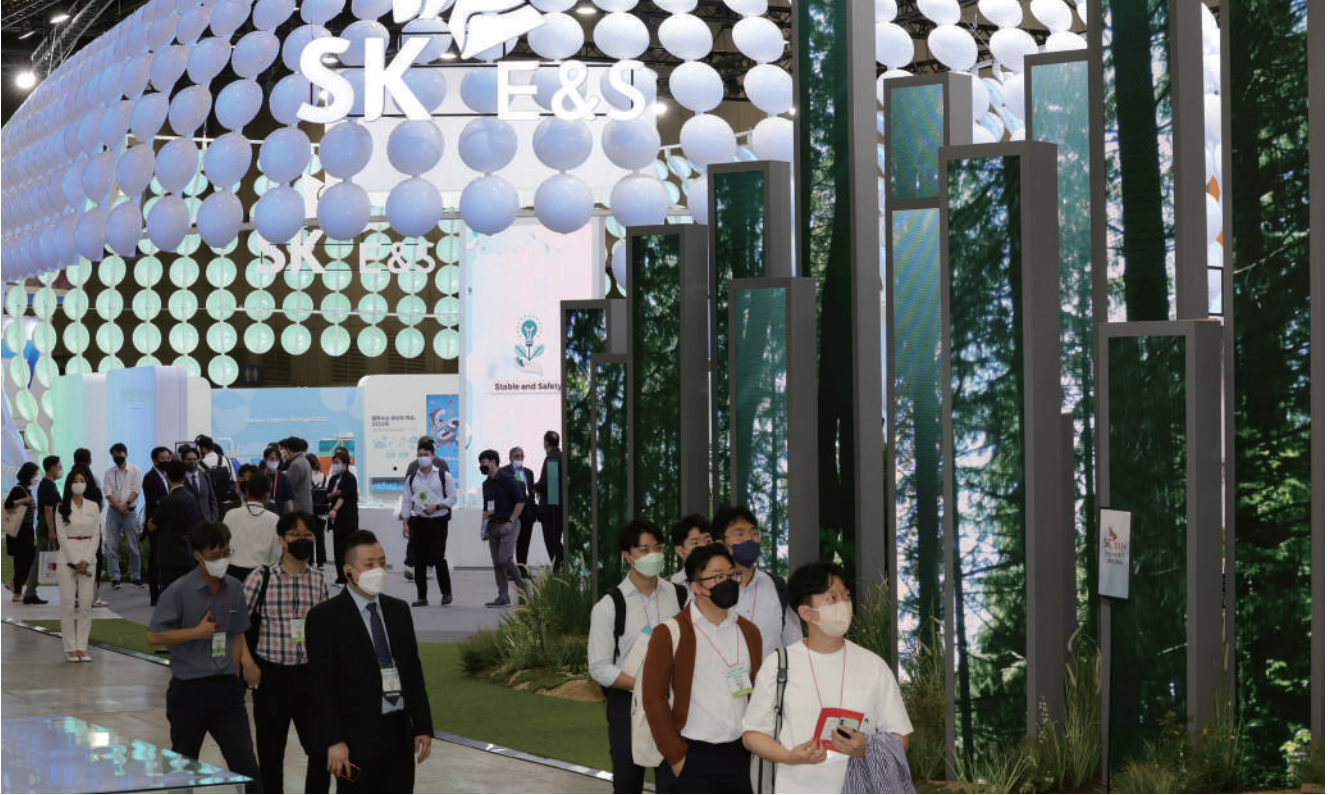
특히 포스코그룹은 미래 청정에너지로 불리는 수소 산업을 개척해 탈탄소 시대를 선도하겠다는 비전을 세웠다. 글로벌 공급망 구축과 핵심 기술 개발·투자를 통해 2030년까지 50만, 2050년까지 700만의 수소를 생산하는 '글로벌 톱티어 공급 기업'이 되겠다는 포부다. 포스코그룹의 수소 사업 모델은 수소환원제철용 수소를 안정적으로 확보하고, 친환경 수소 발전 연료로 전환을 선도하며, 국내외 산업용 수소 수요에 대응하는 방향으로 짜여 있다. 안정적인 내부 수요를 바탕으로 생산·운송 체제를 구축한 뒤 외부 판매까지 연결하겠다는 계획이다. 포스코그룹은 2050년 예상 수소 생산량인 700만 중 500만이 내부 수요로 채워질 것으로 예상하고 있다. 수소환원제철용이 370만, 수소발전용이 130만이다.

실제로 포스코는 현재 철강 제조공정에서 발생하는 부생가스와 천연가스를 활용해 연간 7000t의 '부생수소'를 생산할 수 있는 능력을 갖추고 있다. 2026년까지 연료전지 및 모빌리티용으로 공급되는 부생수소를 연간 7만t까지 확대 공급하는 체제를 갖출 계획이다. 이미 생산 역량을 갖춘 부생수소를 시작으로, 포스코는 CO₂를 포집·저장·활용하는 '블루수소'를 거쳐 궁극적으로는 CO₂를 전혀 배출하지 않는 '그린수소'까지 모든 단계별 수소의 공급 역량을 국내 최대 규모로 키울 방침이다.

그린수소는 재생에너지 환경이 우수한 지역에서 태양광·풍력 등 재생 에너지를 기반으로 한 수전해 방식(전기분해)으로 생산된다. 해외 생산 거점 구축을 위해 포스코홀딩스는 오만, 호주, 인도 등 재생에너지 여건이 우수한 전략 국가를 선정해 그린수소 프로젝트를 개발·투자하고 있다. 오만에서는 2030년 그린수소 20만 생산을 목표로 유망 부지를 잠정 확정했으며, 예비타당성조사를 진행 중이다.

최정우 포스코그룹 회장(앞줄 오른쪽)이 킨텍스에서 열린 수소 산업 전시회 'H₂ MEET'에서 그룹의 수소 사업 진행 현황을 둘러보고 있다. 출처 : 포스코





킨텍스에서 열린 수소 산업 전시회 'H₂ MEET 2022'에서 관람객들이 SK E&S 전시 부스를 살펴보고 있다. 출처: 한경DB

호주에선 '저탄소 철강 원료(HBI) 확보와 그린수소 생산을 연계해 철강-수소 사업 간 시너지 창출을 모색 중이다. 이 밖에 인도에선 재생에너지 및 양수 발전을 기반으로 한 그린수소 및 암모니아 생산 사업을 추진할 예정이다. 포스코는 수소의 효과적 생산을 위한 핵심기술 연구개발에도 착수했다. 700℃ 이상 고온에서 스팀을 전기분해해 수소를 생산하는 원전 연계 고온 수전해(물을 전기분해해 수소를 생산하는 기술) 기술을 한국원자력연구원과 함께 연구하고 있다.

❖ 연료전지는 수소 산업의 쌀

SK그룹 계열사인 SK E&S는 생산·유통·소비를 아우르는 친환경 수소 밸류체인(가치사슬)을 전시관에서 소개했다. 2022년에 미국 수소 기업 플러그파워와 함께 설립한 합작법인(JV) SK플러그하이버스의 수전해 설비 모형을 전시했다. 물을 전기분해해 수소를 추출하는 수전해 설비는 청정 그린수소 생태계 구축의 핵심 수단으로 주목받고 있다. 외부 공간은 두산밥캣과 공동 개발한 수소 지게차, 파트너사인 플러그파워의 차량용 수소연료전지, 수소 충전기 등 실물 위주로 전시를 구성했다. 특히 추형욱 SK E&S 사장은 "수소 시장을 확대하기 위해선 무엇보다 수소 연료전지를 적극적으로 키워야 한다"며 "연료전지는 수소 산업의 쌀"이라고 강조했다. 그러면서 "미래 모빌리티에 적용 가능해 성장 잠재력이 높고, 산업 경쟁력 확대에도 긍정적"이라고 말했다.

두산그룹은 두산퓨얼셀과 두산퓨얼셀파워BU를 앞세워 실증 및 개발 중인 다양한 수소 솔루션을 소개했다. 전시 공간을 트라이젠과 고체산화물형연료전지(SOFC) 중심으로 꾸렸다. 트라이젠은 수소, 전기, 열 등

세 가지 에너지를 만들어낼 수 있는 제품이다. SOFC는 800℃가 넘는 고온에서도 작동하는 연료전지 발전 시스템이다.

코오롱인더스트리는 수소연료전지 사업 기술·제품 등을 전시했다. 이 회사는 2040년까지 국내 사업장에서 탄소중립을 달성하겠다는 청사진을 내놨다. 장희구 코오롱인더스트리 사장은 "코오롱그룹은 30년 동안 수소 사업 노하우를 축적했다"며 "관련 핵심 기술력을 보유한 외부 기업과도 적극 공조하고 있다"고 설명했다.

효성그룹은 영상과 체험형 콘텐츠를 중심으로 액화수소의 가치사슬을 소개하는 형태로 전시 부스를 꾸렸다. 2023년 완공 예정인 효성중공업의 액화수소 플랜트 건립 현황을 소개하고 수소연료탱크, 탄소섬유, 탄소포집·저장 기술 등을 공개했다.

❖ 수소 난방 시대 준비하는 보일러업계

보일러업계가 수소보일러 개발에 박차를 가하고 있다. 탄소중립 시대를 대비하기 위한 움직임이다. 기존 친환경 콘덴싱 보일러가 수소 난방에 곧바로 활용될 수 있다는 게 장점으로 지목된다. 보일러업계에 따르면 경동나비엔은 2022년에 영국에서 판매 중인 기존 친환경 콘덴싱 가스보일러의 '수소 레디' 인증시험을 통과했다. 수소가 20% 혼합된 도시가스에도 보일러가 정상적으로 작동하는 안전한



관람객들이 포스코 전시 부스를 살펴보고 있다. 출처 : 한경 DB

제품이라고 인정한 것이다. 영국은 2025년에 도시가스 배관을 통해 기존 액화천연가스(LNG)에 수소를 20% 섞어 공급할 계획이다. 한국 정부도 지난 2022년에 도시가스 배관에 수소 20%를 혼합하는 실증연구를 시작했다.

LNG와 수소를 혼합하면 탄소배출을 크게 줄일 수 있다. 수소를 20% 섞어서 보낼 경우 연간 탄소 발생 750만을 절감할 수 있다는 설명이다. 수소 비중을 100%로 높이더라도 기존 콘덴싱 가스보일러는 교체할 필요가 없다고 보일러업계는 강조한다. 일부 부품만 교체하면 되기 때문이다. 100% 수소로만 연소되는 전용 보일러 개발에도 나섰다. 일본 린나이는 지난 2022년 5월에 수소 100%로 가동하는 가정용 보일러를 세계 최초로 개발한 바 있다. 경동나비엔은 KAIST 등과 전용 제품 개발에 나섰다. 일각에선 탄소 저감을 명분으로 대형 가전회사들이 경쟁력을 지닌 히트펌프(온풍기)가 난방 시장의 대안으로 떠오를 것으로 거론된다. 하지만 아파트 위주 주거 환경에서 히트펌프는 설치 면적이 넓고 비용이 많이 들어 한계가 있을 것이라 전망이 지배적이다.

❖ 정부, 수소 산업 활성화에 다양한 지원

정부는 수소 산업 지원을 아끼지 않겠다는 뜻을 밝혔다. 한덕수 국무총리는 'H₂ MEET 2022' 축사에서 "정부는 수소 산업이 세계 시장을 주도하는 초격차 산업으로 성장하

도록 도울 것"이라며 "투자과 기술혁신에 걸림돌이 되는 규제는 과감히 개혁하고 금융·세제 지원도 적극 검토하겠다"고 말했다.

이와 관련해 정부가 2030년까지 수소 상용차 3만 대, 액화수소충전소 70개소를 보급하겠다고 지난 2022년 11월에 발표한 바 있다. 선진국 수준의 기술을 확보하고 수소 전문 기업을 600개 육성하기로 했다. 이는 한덕수 국무총리 주재로 열린 제5차 수소경제위원회에서 나온 수소 경제 정책 방향 발표에서 나온 내용이다. 산업통상자원부는 우선 발전·수송 분야에서 대규모 수소 수요를 창출하기 위해 2030년까지 수소 상용차 3만 대와 액화수소충전소 70개소를 보급하기로 한 것이다. 현재 수소 상용차는 211대 보급됐고, 액화수소충전소는 전무한 실정이다. 또한 산업부는 2036년까지 청정 수소 발전 비중을 현재 0%에서 71%까지 끌어올리겠다고 밝혔다. 이를 통해 2030년 47조1000억 원의 경제적 파급 효과와 9만8000명의 고용창출, 약 2800만의 온실가스 감축 효과를 기대하고 있다.

더불어 수전해, 액화수소 운송선, 트레일러, 충전소, 모빌리티 연료전지와 발전 연료전지, 수소 터빈 등 7개 분야를 전략 분야로 육성하고 선진국 수준의 핵심 기반 기술을 확보하겠다는 목표도 제시했다. 수소 관련 글로벌 1위 품목은 2개에서 2030년 10개로, 수소 전문 기업은 기존 52개에서 600개까지 육성할 방침이다. 혼소 발전은 수소 50%, 암모니아 20% 이상 혼소를 목표로 2028년부터는 단계적으로 확산하기로 했다. 기술개발은 2030년까지 완전 국산화하는 데 집중한다. 과학기술정보통신부는 고분자전해질(PEM) 수전해 기술의 국산화율을 2030년 100%(현재 60%)까지 끌어올리겠다고 밝혔다. 고체산화물(SOEC) 수전해 등 차세대 수전해 원천기술도 확보해 생산효율을 높일 계획이다.

❖ 올해 수소 승용차 구매 보조금 2250만 원 지원

2023년에는 수소차 보조금이 총 1만6920대(승용 1만6000대, 버스 700대, 화물차·청소차 220대)에 지급될 예정이다. 특히 상업용 수소차(버스 및 화물차·청소차) 지원 대상 물량은 지난해 340대에 비해 2배 이상인 920대로 늘어난다. 환경부는 지방자치단체들과 함께 올해 수소차 보급 사업을 적극적으로 추진하기 위해 보조 사업 설명회를 지난 1월 31일부터 2월 7일까지 총 세차례에 걸쳐 개최했다. 수소차 보조금은 수소차를 구매하는 개인이나 법인이 지자체에서 받는 구매 보조금이다.

올해 수소차 보조 사업의 승용차 물량은 1만6000대로, 지난해 1만 7650대 대비 1650대 줄었다. 지원 단가는 2250만 원으로 지난해와 같다. 올해 수소 승용차를 구매하는 경우 2250만 원의 구매 보조금을 받을 수 있다는 의미다. 승합차, 화물차, 청소차는 지원 물량이 대폭 늘어난다. 보조 사업 대상 승합차는 지난해 저상 시내버스 300대, 고상 광역버스는 40대 규모였지만 올해엔 각각 400대, 300대까지 끌어올린다. 보조금 단가도 저상 시내버스는 지난해 1억5000만 원에서 2억1000만 원으로, 고상 광역버스는 2억에서 2억6000만 원으로 인상한다. 화물차도 지난해 6대에서 100대로 지원 대상 숫자를 대폭 늘린다. 청소차 역시 지난해 4대에서 올해는 120대로 30배 늘린다는 방침이다. 지원 단가는 각각 2억 5000만 원, 7억2000만 원으로 지난해와 같다.

다만 보조금 사업 담당 주체가 지자체라 지자체별로 공고 물량과 보조금 규모가 상이할 수 있다. 예를 들어 부산의 경우 지방비 1100만 원을 포함해 3350만 원을 승용차 보조금으로 지급한다. 인천도 지방비 1000만 원을 포함한 3250만 원을 승용차 보조금으로 지원한다. 환경부에 따르면 지난해 보급된 수소차는 1만256대로 수소차 보조 사업이

시작된 이후 한 해 기준으로 가장 많은 보급량을 기록했다. 누적된 수소차 보급 실적은 2만9733대로 3만 대에 육박한다.

❖ 국제 해운 탈탄소화 추진 전략, 친환경 선박

부산시와 한국경제신문이 2022년 9월에 부산항 국제 전시컨벤션센터에서 공동 주최한 '2022 부산 스마트해양경제×ESG 포럼'에서 전문가들은 해양산업 분야의 기술 개발이 기후위기를 극복할 핵심 열쇠라고 강조했다. 지구 온난화로 인한 해수면 상승을 억제하기 위해 친환경 기술 개발을 서둘러야 한다고 입을 모았다. '미래 해양 경제, 탈탄소와 ESG를 담다'라는 주제로 열린 포럼에서는 탈탄소의 핵심은 수소경제라고 강조했다. 이와 관련해 기후변화로 매년 급성장하는 수소 시장에서 수소 관련 기술 중심의 기후위기 대처 방안이 집중 소개됐다.

이러한 탈탄소화 트렌트에 맞춰 정부도 2030년까지 핵심 항로인 미주·유럽 노선에 투입되는 무역 선단의 60%를 액화천연가스·메탄올 추진선 등 친환경 선박으로 채운다는 계획을 발표했다. 이를 위해 4조5000억 원에 달하는 대규모 정책 기금을 마련해 최신 친환경선 발주를 도울 계획이다. 해양수산부는 이 같은 내용을 담은 '국제 해운 탈탄소화 추진 전략'을 지난 2월 14일 열린 탄소중립 녹색성장위원회에서 발표했다. 2050년까지 867척에 달하는



부산시와 한국경제신문이 주최한 '2022 부산 스마트해양경제×ESG 포럼'에서 양익석 에너지경제연구원 부원장, 신안식 한국플랜트정보기술협회장, 박수진 한국해양수산개발원 연구위원, 천상규 파나시아 상무(왼쪽부터)가 '해양산업 탈탄소 대응 전략'을 주제로 토론하고 있다.

전체 외항선대의 순탄소배출을 제로(0) 수준으로 줄이는 탄소중립 목표를 달성하기 위한 범정부 차원의 전략이다.

정부는 올해부터 대대적인 친환경선대 구축에 나선다. 2030년까지 미주·유럽 노선 정기선의 60%인 118척을 병커 시유와 LNG, 메탄올 등을 함께 연료로 사용하는 '하이브리드(이중 연료 추진)선'으로 바꾼다. 기존 디젤 선박에 비해 이산화탄소 배출량을 최대 30%까지 줄일 수 있는 선박들이다. 암모니아, 수소 등 탄소를 전혀 배출하지 않는 '무탄소' 선박 개발과 연계해 2040년까지 전체 외항선대의 80%를, 2050년까지 100%를 친환경선으로 전환할 계획이다.

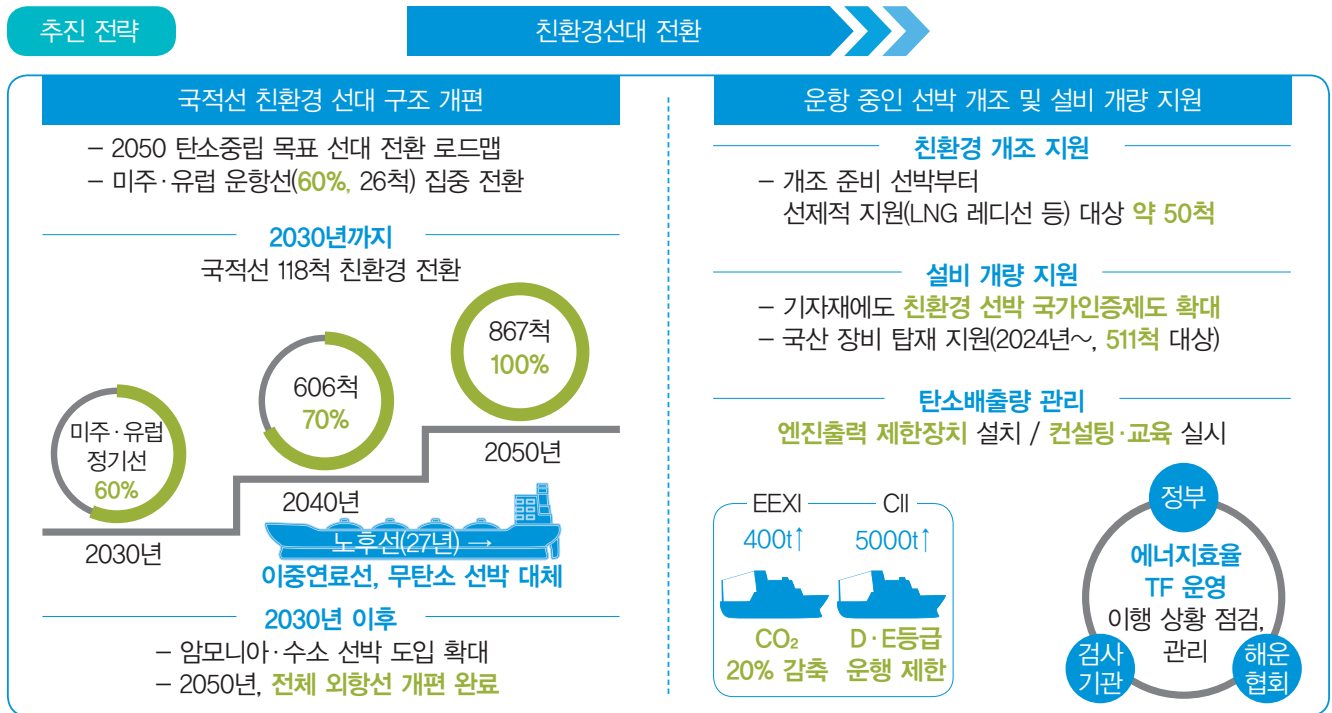
정부는 HMM 등 민간 선사들의 친환경선 발주를 돕기 위해 해양진흥공사와 산업은행, 수출입은행, 한국자산관리공사를 중심으로 4조5000억 원에 달하는 공공기금을 조성하기로 했다. 정부는 이 기금을 통해 민간 선사가 고가의 친환경선을 건조할 때 후순위 대출을 지원할 계획이다. 재정 여력이 부족한 중소 선사의 친환경선 전환을 돕기 위한 1% 안팎의 저금리 자금 지원도 추진한다.

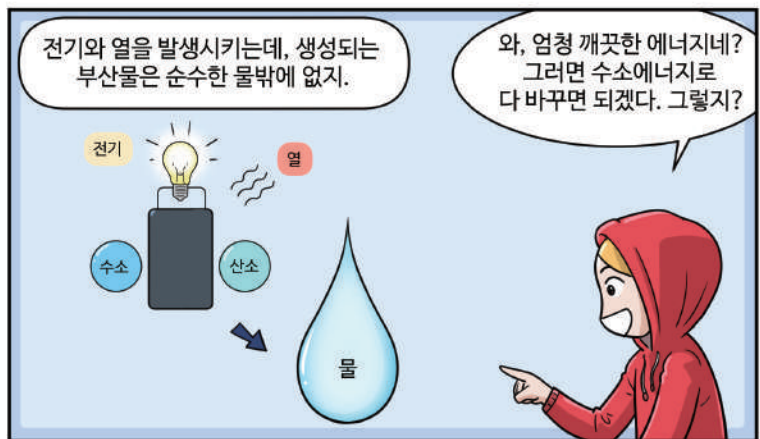
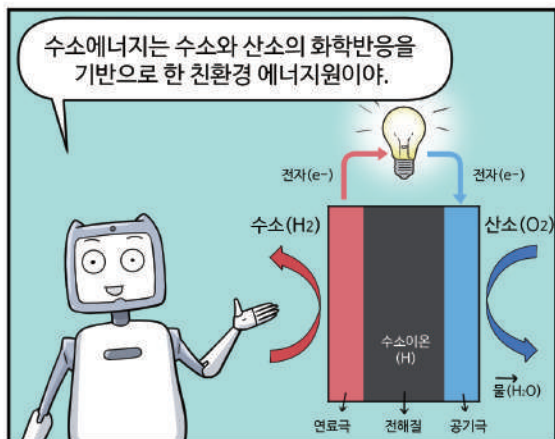
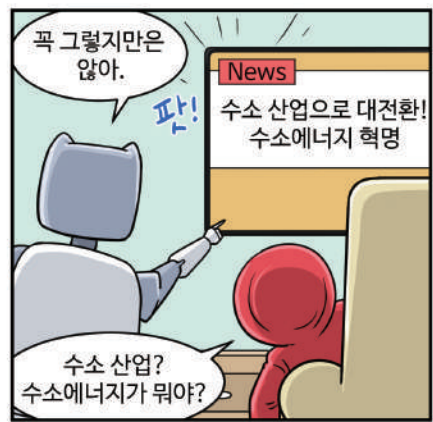
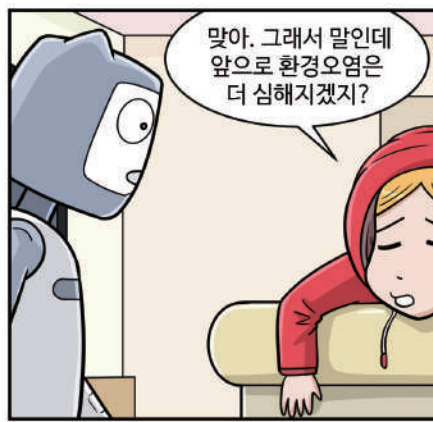
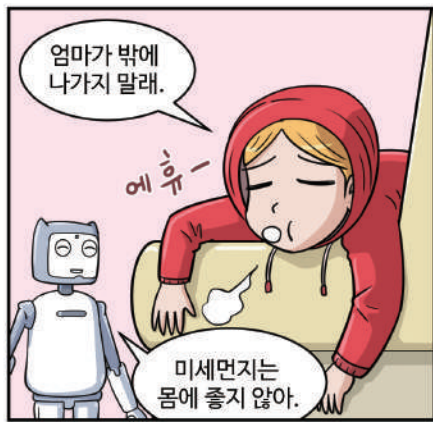
해수부에 따르면 2030년 목표 달성을 위해 민간 선사가 추가 투입해야 하는 금액은 1조8000억 원에 달한다. 2050년 외항선대 전체를 친환경선으로 전환하는 데 필요한

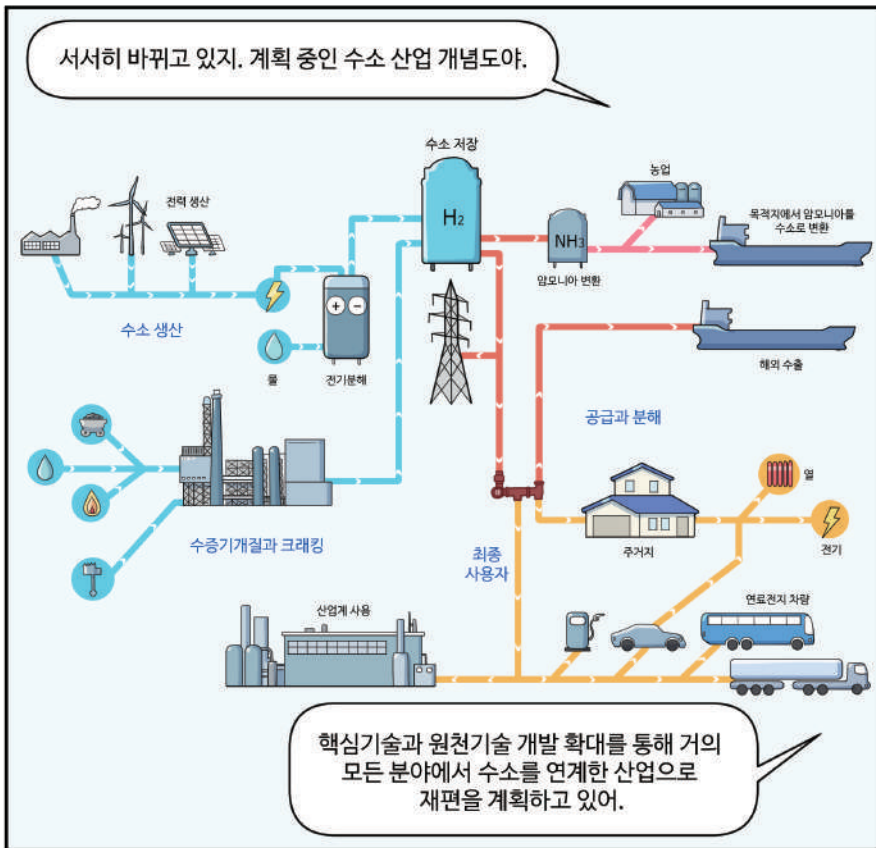


송상근 해양수산부 차관이 정부세종청사에서 '국제 해운 탈탄소화 추진 전략'을 발표하고 있다. 출처: 해양수산부

자금은 7조 원에 달할 것으로 추정된다. 정부는 해운 탄소중립이 친환경선 발주에 따른 조선·철강·기자재 산업으로 연쇄 효과를 일으키며 2030년까지 17조 원, 2050년까지는 최대 158조 원의 경제효과를 창출할 것으로 보고 있다. 송상근 해수부 차관은 "국제 환경 규제가 점차 강화되면서 얼마나 선제적으로 친환경선대를 구축하느냐가 우리 해운업의 경쟁력을 좌우하게 될 것"이라며 "정부 지원뿐 아니라 녹색채권, 증권형 토큰 발행 등 민간의 선박 투자를 활성화하기 위한 대책도 연내에 마련하겠다"고 말했다.







승용차 240만, 대형 운송수단 280만, 새로운 운송수단 20만 등을 담당하는 것이고, 국내 경제효과 70조 원, 고용창출 60만 명에 달하는 규모로 평가되고 있어. 세계적으로는 2500조 원 상당의 산업이 될 거야.





탄소중립 사회 실현 이끌 국가대표급 CO₂ 포집 기술개발

국제사회는 2015년 12월 파리기후변화협약을 채택한 이후 온실가스 감축에 대한 모든 국가의 적극적 동참을 요구하고 있다. 우리 정부도 2030년까지 2018년 이산화탄소(CO₂) 배출량 대비 40%를 감축하겠다는 목표를 설정하고 이를 이행하기 위해 노력하고 있다. 이런 가운데 한국전력공사 전력연구원이 우리나라 온실가스 배출량의 약 36%를 차지하는 전력산업의 저탄소, 나아가 탄소제로 에너지원으로의 전환을 도모할 수 있는 연소 후 흡수 CO₂ 포집 기술 고도화에 성공해 주목받고 있다.

조범진 서범세



한국전력공사 전력연구원
홈페이지 바로가기



전 세계 탄소중립 의무화에 따른 국가 경쟁력 조기 확보 기여

한국전력공사 전력연구원은 2000년대 초부터 화력발전, 철강, 석유화학 및 시멘트 산업 등에 적용 가능한 연소 후 습식 CO₂ 포집 기술을 자체 개발해 소규모 실증 설비에서 그 성능을 검증하는 동시에 상용급 격상 설계 자료를 확보했다. 이를 토대로 한국중부발전 보령화력발전본부 8호기에 10MW급 습식 CO₂ 포집 설비(포집 규모 1일 200tCO₂)를 건설했다.

CCS 통합 실증을 위한 중규모 저장 연계 연소 후 습식 CO₂ 포집 기술 고도화

한국전력공사 전력연구원
이정현 선임연구원

사 업 명	에너지수요관리핵심기술개발
제 품 명	연소 후 습식 CO ₂ 흡수제 및 포집 공정 (KoSol & KoSol Process)
개 발 기 간	2017. 12. ~ 2021. 11.(48개월)
총정부출연금	89억2300만 원
개 발 기 관	한국전력공사 전라남도 나주시 전력로 55(빛가람동) 061-345-3114, www.kepco.co.kr
참 여 연구 진	심재구, 이정현, 박노상, 정진규

특히 10MW급 포집 설비는 연간 7만t의 CO₂를 포집할 수 있는 규모로, 국내 기술을 적용한 최초의 상용급 설비라는 점에서 이번 기술개발의 의미는 매우 크다. 즉 단순히 실험실 단계에서의 성능 검증이 아닌 국내 유일의 상용급 실증을 통한 성능

검증을 거친 기술이라는 점에서다.

이에 대해 이정현 선임연구원은 “탄소중립 사회 실현을 선도하는 국내 기술을 확보함과 동시에 발전소의 포집 기술을 활용해 온실가스 직접 감축, 개발 기술의 산업설비 확대 적용을 통한 친환경 산업 육성, 대규모 CCS(CO₂ 포집 및 저장) 통합 실증 국가 프로젝트의 적기 추진 및 전 세계 탄소중립 의무화에 따른 국가 경쟁력 조기 확보에 기여할 수 있게 됐다”고 밝혔다.

국내 독자 기술로 세계 최고 수준 CO₂ 흡수제(KoSol) 개발

한전 전력연구원에서 독자 개발한 흡수제 KoSol (Korea Solvent)은 상용 흡수제인 모노에탄올아민(MEA)에 비해 포집 공정에서 소모되는 에너지를 추가적 공정 개선 없이도 25% 이상 저감할 수 있다. 동시에 열 회수 공정 적용 등의 개선을 통해 CO₂ 포집에 필요한 에너지를 상용 흡수제 대비 43% 이상 줄일 수 있다. 또 개발 흡수제(KoSol-6) 및 공정을 적용해 10MW급

(왼쪽) 10MW급 KoSol CO₂ 포집 설비.
(오른쪽) 한국전력공사 전력연구원 전경.





10MW급 KoSol CO₂ 압축·액화설비.

How to

거듭된 실험 끝에 연구실에서 개발한 이산화탄소(CO₂) 흡수제를 발전소에 구축된 CO₂ 포집 설비에 실제 적용하자 예측하지 못한 문제가 다수 발생했다. 이를 해결하기 위해 설비를 지속적으로 보강하는 한편, 흡수제 상태를 꼼꼼히 모니터링함으로써 1년 이상의 무정지 연속운전이라는 당초 목표를 달성할 수 있었다.

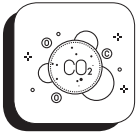
습식 CO₂ 포집 설비에서 포집률 90%, 포집 CO₂ 순도 99.9% 이상의 조건하에 운전한 결과, 2.2~2.3GJ/tCO₂(이산화탄소 상당량)의 에너지 소모량과 0.3kg/tCO₂ 이하의 흡수제 손실량 등 높은 내구성을 보이며 세계 최고 수준인 최장 1만 시간 이상의 안정적 무정지 연속운전을 달성했다.

이 선임연구원은 “이 기술은 체계적 흡수제 성능 검증과 국내 최대 규모, 최고 성능, 최장 시간 상용급 트랙 레코드 보유, 고성능 저에너지 소비형 흡수제, 고내구성 흡수제, 우수한 상용급 실증 검증 등 다섯 가지의 차별화된 장점을 지녔다”며 “특히 KoSol의 경우 CO₂ 포집 성능, 포집된 CO₂의 순도, 그리고 경제성을 좌우하는 에너지 소비량 등에서 세계 최고 수준이라는 것을 입증했다. 또한 흡수제의 핵심이 되는 주요 구성물질을 데이터베이스화해 이를 기본으로 흡수제 개발 및 성능 개선에 성공함으로써 원천특허를 확보했다”고 말했다.

발전 부문 대규모 CCS 통합 실증 사업 선도 예정

한편 기술 이전 및 사업화와 관련해 습식 CO₂ 포집 기술로 구축된 보령화력의 10MW급 CO₂ 포집 실증 설비는 현재 상용 설비로 전환돼 연속운전 중이다. 포집 설비와 함께 구축된 하루 150tCO₂ 규모의 압축·액화 설비와 연계함으로써 연간 5만 t의 온실가스 감축 효과를 거두고 있다. 그리고 현재 10MW급 습식 CO₂ 포집·압축·액화 설비에서 생산된 고순도 CO₂는 농업, 식·음료업 및 조선산업 등에 활용돼 CO₂ 포집 기술의 수익 사업화 가능성을 보여주고 있다. 또 독자 개발 후 현장 적용에 성공한 습식 CO₂ 흡수제 및 포집 기술은 발전 분야뿐 아니라 철강, 석유화학과 블루 수소 생산공정에 이르기까지 기술 적용의 다변화를 꾀하고 있다.

한전 전력연구원은 상용급 습식 CO₂ 포집 설비 개발 결과를 활용해 150MW급 CO₂ 포집 설비의 기본설계(FEED)를 완료, 정부의 제3차 녹색성장



CCS

이산화탄소 포집 및 저장 (Carbon Capture & Storage). 에너지를 얻기 위해 사용되는 화석연료를 연소 또는 처리하는 과정에서 발생하는 이산화탄소를 대기 중에 방출하지 않고 포집, 회수한 후 격리하는 기술.

5개년 계획 주요 추진 과제인 국내 연간 100만t 규모 이상의 CO₂ 포집 및 저장 통합 실증 사업에 대응할 수 있도록 모든 준비를 마쳤다. 동시에 발전, 철강, 수소 생산 등 민간기업에 다수의 기술 이전을 완료하는 등 산업계 CO₂ 포집 기술의 사업화가 진행되고 있다.

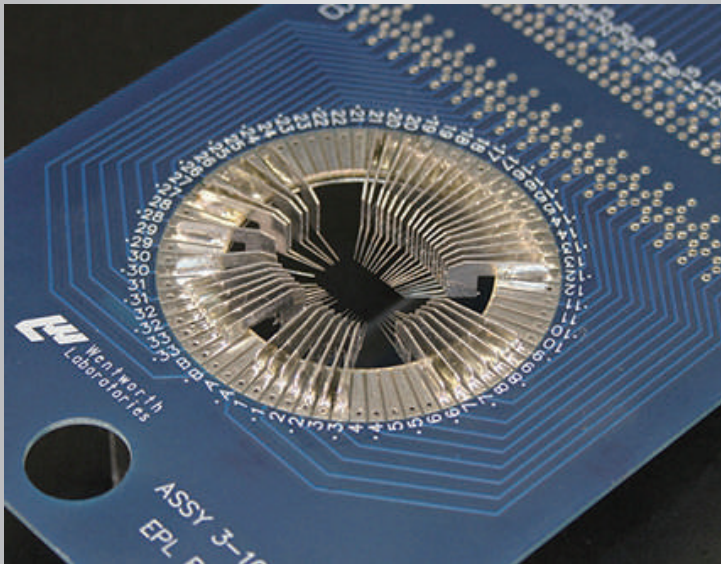
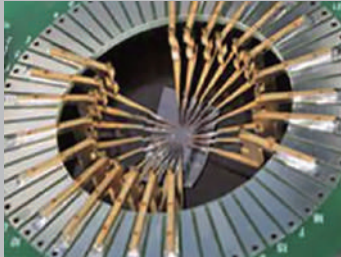
이 선임연구원은 앞으로의 계획 및 목표와 관련해 “향후 국가 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해 정부 주도로 연간 100만t 규모의 CO₂ 포집 및 저장 실증 프로젝트가 추진될 것으로 예상된다”며 “한전 전력연구원은 석탄화력뿐 아니라 액화

천연가스(LNG) 발전에서도 대규모 CO₂ 포집 공정에 따른 발전효율 저하 최소화 노력과 함께 운영비·건설비 등 투자비를 줄이기 위해 지속적으로 연구하면서 발전 부문의 대규모 CO₂ 포집 및 저장 통합 실증 사업을 선도해나갈 계획이다. 발전사뿐 아니라 철강, 석유화학, 시멘트 등 산업 분야에서 대량으로 배출하는 CO₂의 감축·활용 및 선박에 적용 가능한 CO₂ 포집 설비 등 다양한 산업계의 수요에 발맞춰 스피노프 사업화를 위한 기술 적용 최적화 연구를 이어나갈 방침”이라고 밝혔다.





PROJECT 한국전자기술연구원의 사물인터넷, 스마트 공장, 안전 산업
수요 대응 첨단 센서 활성화를 위한 고신뢰·지능화·공정 기술



MEMS 탐침(Probing Tip)을 적용한 반도체 검사용 프로브 카드.

탐침(Probing Tip)은 반도체 패키지와 전기적으로 연결된 단자에 접촉해 전기신호를 인가하거나 출력된 전기신호를 측정하는 부품이다. 이러한 탐침 기술로는 현재 핀 형태의 Spring(Pogo) 타입 기술과 절연성 고무를 이용하는 Rubber 타입 기술이 사용되는데, 반도체 패키지 기술의 진화에 따른 Fine Pitch용 Spring 타입은 비용 면에서 부담스럽고 양산성 확보가 어려운 실정이다. 이러한 가운데 한국전자기술연구원을 비롯해 나노종합기술원, 한국광기술원은 (주)오킨스전자와 공동으로 수행한 본 프로젝트에서 MEMS 공정 기술을 적용해 문제를 해결했다. 즉 Fine Pitch의 센서 및 반도체 패키지의 전기적 성능 검사에 사용되는 탐침의 양산성과 생산원가 절감을 위해 8인치 반도체 웨이퍼 MEMS 공정을 적용하는 데 성공했다. 구체적으로 기존 센서 테스트 프로브 핀(Probe Pin)은 톱다운 에칭 제작 공정으로 만들어 고정밀·초미세화가 어려웠으나 보텀업 방식의 도금 공정 적용을 통해 초미세·고정밀 Fine Pitch 프로브 핀 공정 기술을 개발했다. 또 기존의 양산용 Pogo 대체품 개발 진행 및 범용 Pitch(0.8mm 이상)를 먼저 개발하고, Fine Pitch(0.3mm 이하)로 확대 적용하며 PION을 Tip, Tip1, Spring, Body 등 네가지로 구성했다. 더불어 60um 이상 두께의 Ni-Co와 Au 전해

MEMS 공정 기술 적용, 탐침의 양산성과 생산원가 절감하다

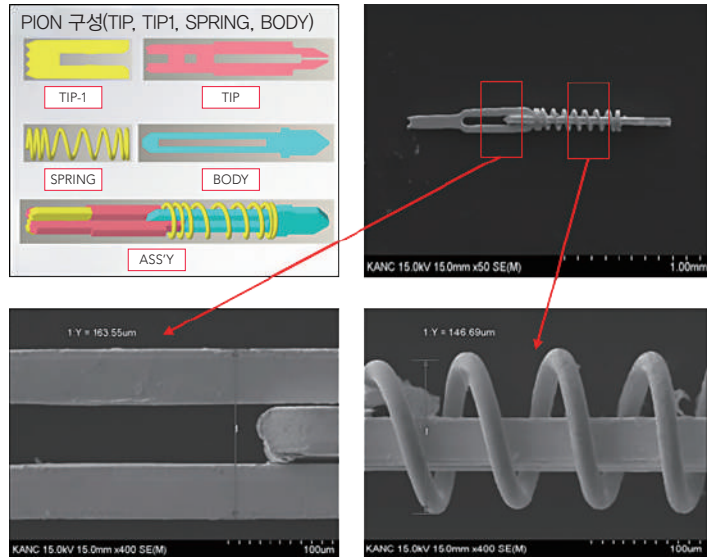
반도체 제조공정에서 생산한 반도체소자의 불량 또는 양품 여부를 판단하기 위해 사용되는 프로브 카드(Probe Card)에 적용되는 부품으로 반도체 웨이퍼, 패키지, 소켓의 전기적 성능 평가에 사용되는 기술이다.

도금 공정을 개발하면서 Force Stroke Resistance 측정 방법을 확보해 핀의 특성을 안정화했다.

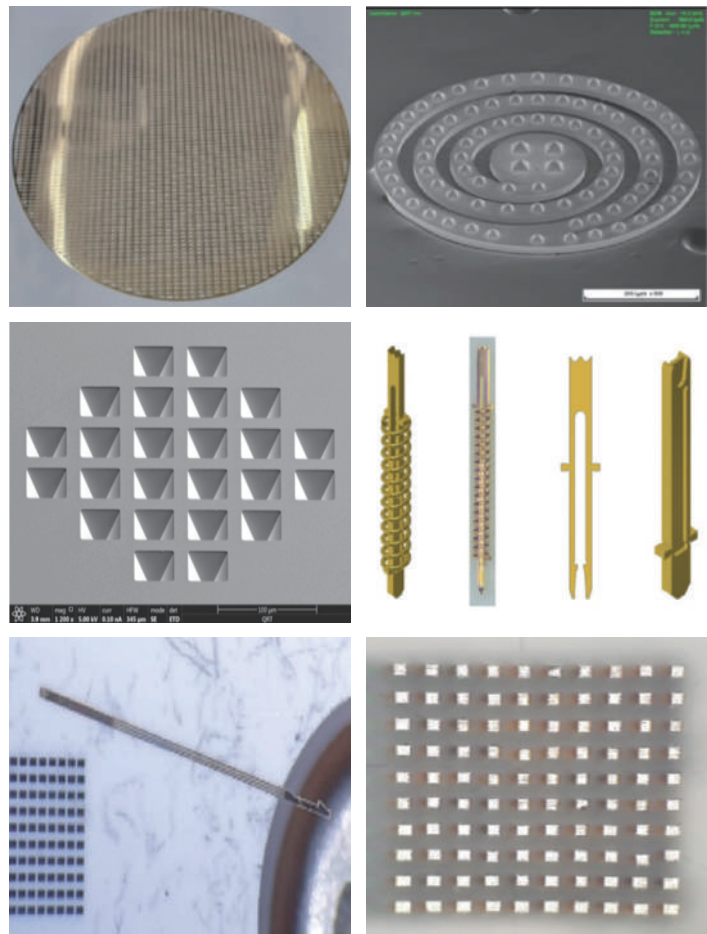
원가절감하며 경쟁력 강화하다

반도체 패키지 기술의 진화로 Fine Pitch 용 프로브 팁 개발이 절실한 가운데 기존에 사용하는 Pogo 타입과 Rubber 타입 중 Pogo 타입이 가격경쟁력이 떨어져 센서 테스트 소켓용 MEMS형 초미세 프로브 핀 공정 기술개발을 진행했다. 이를 통해 기존 Be-Cu 소재에서 Ni-Co로 내구성을 향상시키는 한편 선폭 및 두께 공차를 안정화($\pm 5\mu\text{m}$)했다. 또 저항값 $100\text{m}\Omega$ 이하, Contact Force를 5~13gf로 조절 가능하게 만들었다. 그 결과 8인치 웨이퍼에 약 70~10K개의 프로브 팁의 생산 가능하며, 이로 인해 생산원가를 절감했다(Pogo 타입보다 약 10배 이상 가격이 낮음).

한편 반도체의 미세화로 입출력 단자의 간격이 줄어들면서 소모성 공정 테스트 소켓이 고도화되고 가격 상승으로 이어지고 있어 관련 기업의 실적 호조세가 지속될 것으로 전망된다. 기대 효과로 반도체 검사용 소켓과 Fine Pitch에 적극 대응하는 Rubber 타입 테스트 소켓 기술에 적용할 수 있으며, 프레스 및 에칭 공정보다 우수한 성능의 핀으로 경쟁력 강화는 물론 원가절감이 가능하다.



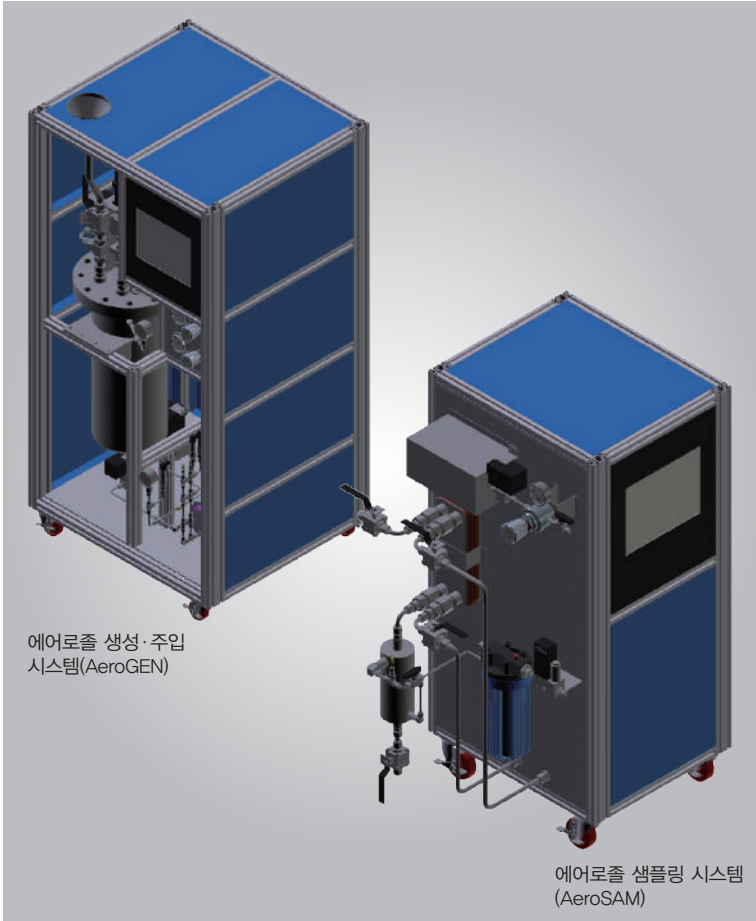
웨이퍼 레벨 MEMS 공정을 적용한 테스트 탐침(Probing Tip) 제작 결과.



다양한 디자인과 형태의 MEMS Probe Pin(Tip, Pyramid / Straight / PION 등)



PROJECT (주)미래와도전의 고온·고압 작동 환경에서 운전 가능한
다기능 복합 에어로졸 제어시스템



에어로졸 생성·주입
시스템(AeroGEN)

에어로졸 샘플링 시스템
(AeroSAM)

기존 제품의 기술적 한계를 극복하다

고온·고압 에어로졸 제어를 위한 설계·제작 및 성능 시험 기술 확보, 기존 에어로졸 상용 장비의 운전 영역 및 적용 범위 확장, 고온·고압 에어로졸 연구개발 및 산업체 특수 수요 부합.

원자력 연구개발 및 엔지니어링 전문 기업 (주)미래와도전은 원전에서 발생할 수 있는 다양한 방사성물질 중 입자상의 에어로졸 거동 및 관련 현상의 중요성을 인식하고 있었다.

하지만 기존 대기환경에서 사용하는 에어로졸 관련 상용 장비는 원전에서 다루는 고온·고압의 환경 조건에 적용하기 쉽지 않고, 검증도 부족한 상황이었다.

이에 미래와도전은 상용 에어로졸 장비 기술의 한계를 극복하고 적용 범위를 확장하기 위해 본 프로젝트를 추진했다. 더불어 고온·고압 에어로졸 거동 및 현상 분석을 위한 기반 기술 제공을 비롯해 고온·고압 에어로졸 생성, 주입 및 샘플링 기술의 우위를 확보한다는 목표로 진행했다.

본 프로젝트에서 성공적으로 개발한 제품은 증기와 비응축성 기체로 혼합된 고온·고압 및 다량의 습분을 포함한 환경 조건에서 운전이 가능한 에어로졸 제어 시스템이다. 기존 제품(상온·상압, 상온·고압, 고온·상압 환경 등에서 사용)으로는 직접적인 적용이 불가능한 기술적 한계를 극복하고 고온·고압 환경 조건에서 에어로졸 생성·주입 및 측정을 수행하도록 개발됐다.

상용화에 이어 마케팅을 강화하다

본 프로젝트에서 개발한 고온·고압 작동 환경에서 운전이 가능한 복합 에어로졸 제어시스템은 에어로졸 생성·주입 시스템인 AeroGEN과 에어로졸 샘플링 시스템인 AeroSAM으로 구성된다. 고온·고압 환경 조건에서 안전성을 확보하기 위해 설계압력 10bar, 설계온도 200℃에서 관련 부품 및 시스템의 설계를 수행하고 상온·상압 조건부터 7bar, 160℃의 운전 조건까지 다양한 기체 조건(증기, 비응축성 기체, 혼합 기체)에서 성능 시험을 통한 검증을 수행했다. 또 사용자의 편의성을 확보하기 위해 유로 최소화, 기기 배치 최적화 및 운전 자동화 같은 설계 최적화를 바탕으로 다양한 사용자의 요구사항을 만족시킬 수 있도록 개발했다.

한편 본 기술 및 제품은 1차적으로 원자력 관련 에어로졸 연구개발에 활용되고 있으며, 최근 원전 안전에 대한 관심이 증폭됨에 따라 에어로졸 제어 설비의 성능 시험·검증 등 그 활용성이 늘어날 것으로 기대하고 있다. 이미 확보한 국내외 지식재산권(국내 특허 2건, 미국 특허 1건, 중국 실용신안 1건)을 토대로 마케팅을 강화하는 한편, 타 산업으로의 공급망 확대를 추진하고 있다.



에어로졸 생성·주입 시스템 (AeroGEN)

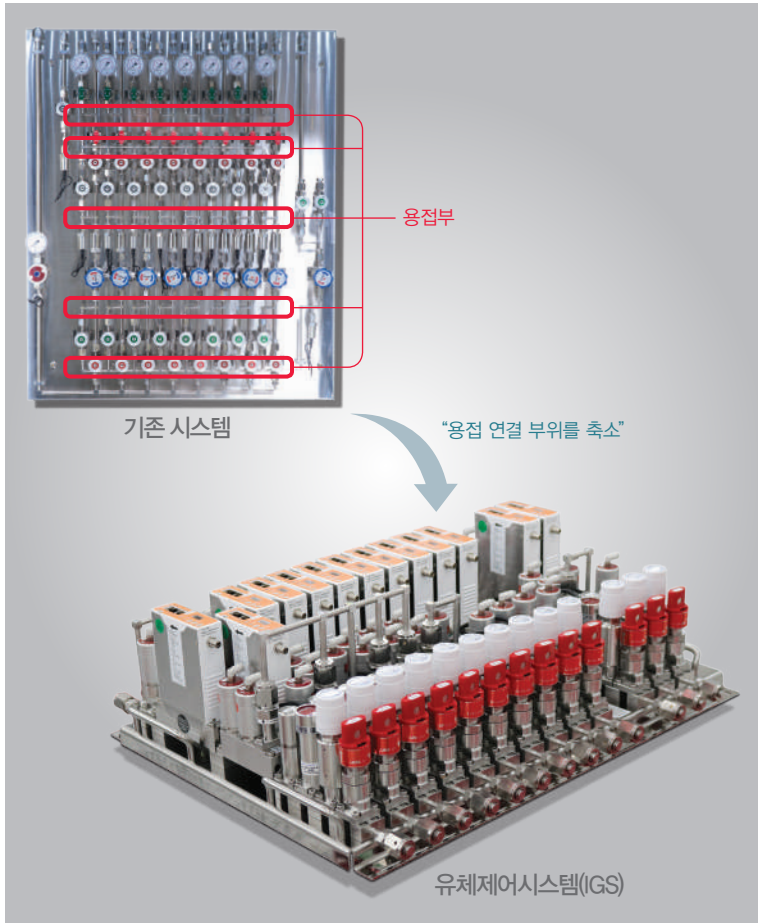
㈜미래와도전에서 개발한 제품은 증기와 비응축성 기체로 혼합된 고온·고압 및 다량의 습분을 포함한 환경 조건에서 운전이 가능한 에어로졸 제어시스템이다.



에어로졸 샘플링 시스템(AeroSAM): 좌(전처리 모듈), 우(제어 및 후처리 모듈)



PROJECT (주)유니락의 고내식성 표면 경화 기술을 이용한
메탈실링 유체제어시스템 기술



유체제어시스템(IGS)이란 반도체 장비에 사용되는 배관을 블록(Block)과 메탈 개스킷(Metal Gasket)으로 연결하고 집적화해 유체의 공급을 제어할 수 있도록 밸브, 레귤레이터, 필터 등의 부품을 모듈화·소형화한 시스템이다.

이와 관련해 기존 시스템은 VCR 연결구 및 튜브로 각 포인트를 용접한 후 밸브, 필터, 레귤레이터 등의 유체제어장치를 연결하는 방식으로 설치 공간을 많이 차지하는 데다 유지·보수에 어려움이 있었다. 또 용접 포인트가 많아져 독성 유체, 부식성 가스에 취약하고 설치 조립 시간 및 실링 상태를 검증하는데도 상당한 시간이 소요된다. 하지만 본 프로젝트에서 개발한 유체제어시스템은 용접 연결 부위를 축소해 사고 발생을 방지하고, 청정도를 높게 유지하며, 설치 공간 또한 줄일 수 있다.

한편, 유체제어시스템의 내식성을 높이고자 최신 나노 공정으로 반도체를 생산하고 있으며, 고진공을 유지하면서 순도를 높이기 위해 메탈 실링 구조의 기술 향상을 꾸준히 요구하고 있다. 고진공을 위해서는 표면 경화 공정이 필수이며, 유체제어시스템의 특성상 내식성이 유지되어야 하므로 그에 따른 적합한 표면 처리 기술에 관한 연구가 절실한 상황이다. 국내시장의 경우 유체제어시스템을

반도체 공정 가스 제어의 핵심인 유체제어시스템

최초로 국산화한 (주)유니락의 유체제어시스템(IGS)은 점차 미세화하고 있는 반도체 제조 라인의 핵심부품이다. 유체제어시스템은 반도체 CVD, ALD, PVD, Metal Etcher 공정의 장비에 적용된다. 따라서 인공지능, 스마트 자동차, 지능형 로봇, VR·AR, IoT, 웨어러블의 센서 및 반도체 분야에 활용된다.

전량 수입하고 있으며, 장비 수출로 벌어들인 외화의 상당 부분이 고부가가치 부품 구매로 다시 해외로 유출되는 구조적 문제가 발생하고 있다. 따라서 난삭재의 심공홀 가공 기술, 고내식성 표면 경화 처리 기술 개발 및 메탈실링 구조의 기술 향상을 통해 유체제어시스템 전체 모듈 장치를 국산화함으로써 국내 독점적인 수입 제품 대체와 세계시장의 고객 요구를 충족시킬 필요가 있다.

반도체 전 공정 장비에 유체제어시스템 확대 공급 추진

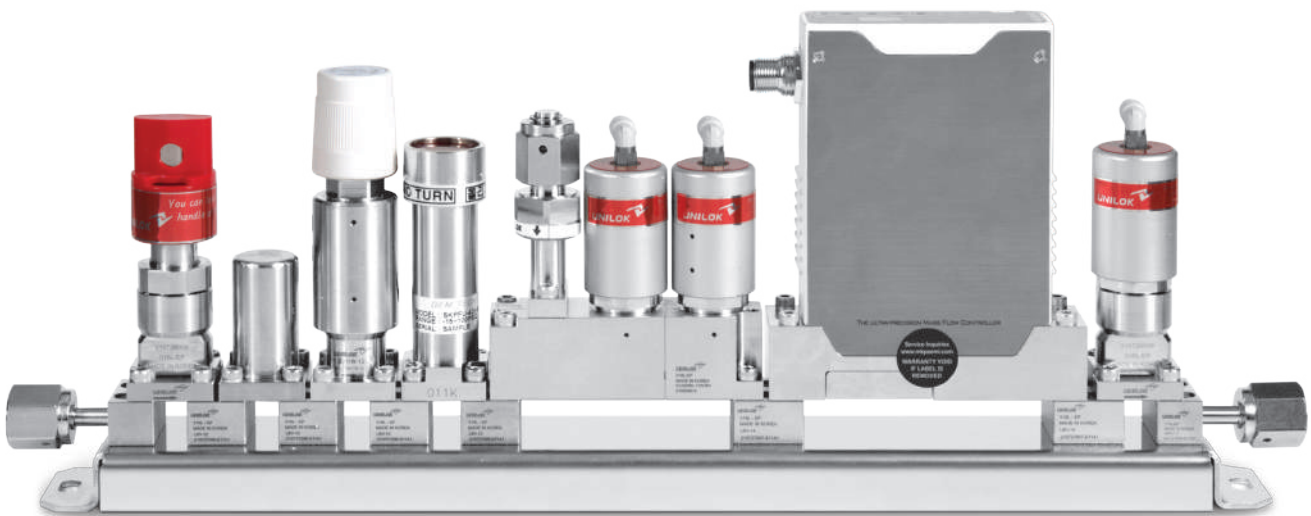
본 프로젝트에서는 유체제어시스템의 국산화를 위해 블록, 개스킷 등의 하부 부품 설계부터 전체 유체제어시스템 설계 및 개발에 이르기까지 다양한 연구

개발을 진행했다. 이를 통해 확보한 대표적 핵심기술은 고내식성 표면 경화 기술, 유체제어시스템의 열·유동 제어 기술, 고진공 메탈실링 기술을 이용한 메탈 블록 및 제품군 개발이다.

유니락은 본 프로젝트에서 국산화에 성공한 유체제어시스템을 삼성과 하이닉스에서 승인받아 현재 CVD 공정 장비사에 공급하고 있다. 또 에처(Etcher), ALD 공정 장비사와는 데모와 관련해 협의를 진행하고 있다. 더불어 향후 램(Lam)·AMAT·Tel 등 해외 장비사를 통해 TSMC·미크론(Micron)·SMIC 등에도 판매를 추진할 계획이며, 반도체 전 공정 장비에 유체제어시스템을 확대 공급하기 위해 노력하고 있다.



(주)유니락이 개발한 유체제어시스템은 용접 연결 부위를 축소해 사고 발생을 방지하고 청정도를 높게 유지하며 설치 공간 또한 줄일 수 있다.



유체제어시스템(IGS)

(주)레이
홈페이지 바로가기



PROJECT (주)레이의 CBCT를 이용한 클라우드 기반의 치과 및 의료용 보형물 모델링, 쾌속 제작 및 통합 거래 시스템



RAYDENT Studio

치과 진단은 물론이고 치료에도 디지털화가 가속화하고 있다. 이에 따라 진단과 치료 간 기술 융합뿐 아니라 CAD·CAM 기술 발달로 저소음, 균일한 품질, 빠른 가공이 가능한 3D 프린팅 기술이 부각되고 있다. 특히 CBCT(Cone-Beam CT) 영상장비를 활용하면 환자 맞춤형 의료 서비스로 차별화된 기술을 확보할 수 있으므로 진단뿐 아니라 치료 분야로 확대가 가능해 전 세계 기공·보철물 시장을 선점할 수 있다. 실제로 고해상도

CBCT의 구현으로 기존 1~2주 걸리던 인공치아 제작을 디지털화해 공정을 단순화하면서 하루 만에 제작할 수 있게 됐다. 이와 관련해 (주)레이는 본 프로젝트에서 디지털 방식의 치과 진단 및 치료를 위해 CBCT에서 촬영한 환자의 치아 또는 임프레션(Impression)에서 획득한 영상과 데이터를 3D 표면 데이터로 변환하고, 3D 표면 데이터에서 보형물을 디자인할 수 있는 CAD SW에서 디자인한 보형물을 출력하는 3D 프린터, 3D 표면 데이터로 보형물을 제작 의뢰하는 전자 거래 플랫폼을 개발했다.

치과용 체어사이드 소형화 3D 프린터 솔루션 구현 시스템

본 프로젝트에서 개발한 기술을 토대로 사업화에 성공하며 매출 실적을 꾸준히 올리고 있는 (주)레이는 기존에 판매되는 덴탈 CT 진단 시장에서 치료 시장으로 패러다임이 변하는 추세에 따라 각각 분리된 요소 기술을 밸류체인 구성 모듈별로 상품화하는 동시에 밸류체인 단절 없이 디지털 토털 솔루션으로 패키지화해 판매하고 있다.

The Future of Dentistry
주식회사 레이

기존 국내외에서 개발한 CBCT는 해상

도가 수백 μ m로 낮아 3D 데이터로 얻은 CAD 데이터는 보형물을 제작하는 데 한계가 있었다. 이런 가운데 레이가 본 프로젝트에서 개발한 핵심기술인 고해상도 CBCT 기반의 환자 3D 데이터 - STL 변환 기술 - CAD·CAM 기술 - 3D 프린팅 기술 구현을 통해 디지털 솔루션 플랫폼을 구축함으로써 진단·치료를 융합한 차세대 시스템으로 글로벌 경쟁력을 확보하는 성과를 올렸다.

본 프로젝트에서 확보한 기술을 활용하면 덴탈 CT로 촬영한 영상으로 치과 또는 기공소에서 3D 프린팅을 할 수 있는 데이터로 변환해 치과 보형물을 직접 설계 및 제작할 수 있다. 또 어렵고 복잡한 많은 기공 단계 및 프로세스를 최소화해 비용 절감과 동시에 효율성과 생산성을 높일 수 있다. 이렇듯 기존 제품의 원래 용도인 진단뿐 아니라 병원의 직접 수익으로 연결되는 치료 분야까지 활용할 수 있는 다른 제품과의 차별성으로, 글로벌 경쟁력 확보는 물론 제품 판매 확대로 이어져 매출 증대에 크게 기여할 것으로 전망된다. 이와 관련해 해외에 11개 법인을 설립한 레이는 국내외 100여 개국에 제품을 판매하고 있으며, KOL (Key Opinion Leader) 세미나 개최, 국내외 다양한 치과 전시회 참가, 온라인 마케팅을 통해 적극적으로 제품을 홍보하고 있다.

레이덴트 솔루션



1. 스캔

CT 임프레션 스캔

CT 진단부터 3D 프린팅까지 한 번에 해결



RAYDENT Designer



RAYDENT Printer



4. 결과물

임시 치아 & 모델

2. 디자인

쉽고 간단한 캐드

3. 3D 프린팅

빠르고 정확한 3D 프린팅

RAYDENT Solution

교정용 보철물 설계를 위한 캐드 소프트웨어



임플란트 시술 계획과 서지컬 가이드 설계를 위한 캐드 소프트웨어



세호마린솔루션즈(주)가 추진하는 R&D 프로젝트 저탄소·친환경 요구를 충족할 수소 추진 선박 기술

온실가스 감축 조치로 저탄소·무탄소 연료의 사용 확대를 요구하는 대체 연료 사용 선박 시장에 대응하기 위해 선도적으로 실시하는 본 프로젝트는 안전 기반의 소형 수소 추진 선박의 설계, 건조 및 실증에 따른 표준 모델 제시를 목표로 한다.



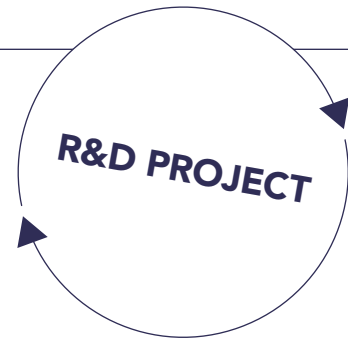
(왼쪽부터) 김민지 책임엔지니어, 이성범 수석엔지니어, 민경기 이사, 강정식 부사장, 김영원 대표, 김지광 엔지니어, 박재원 엔지니어.



세계 수소 선박 시장을 주도할 대형 프로젝트

‘안전 기반 40인승 350kW급 수소 추진 선박 설계·해석·건조 단계 엔지니어링·실증 기술개발’ 프로젝트는 총괄 기관인 울산대학교를 비롯해 세호마린솔루션즈(주), KTE, MRC, 한국수소산업협회 등 20여 개 전문 기업, 연구 기관 등이 참여해 수소 추진 선박의 안전성·환경성·경제성을 확보하는 통합 플랫폼 구축을 목표로 진행한다. 2022년부터 2026년까지 산업자원통상부 185억 원, 울산시 60억 원 등 총 245억 원을 지원받는 대형 프로젝트로 총괄 과제 이외에 4개 세부 과제로 구성된다.

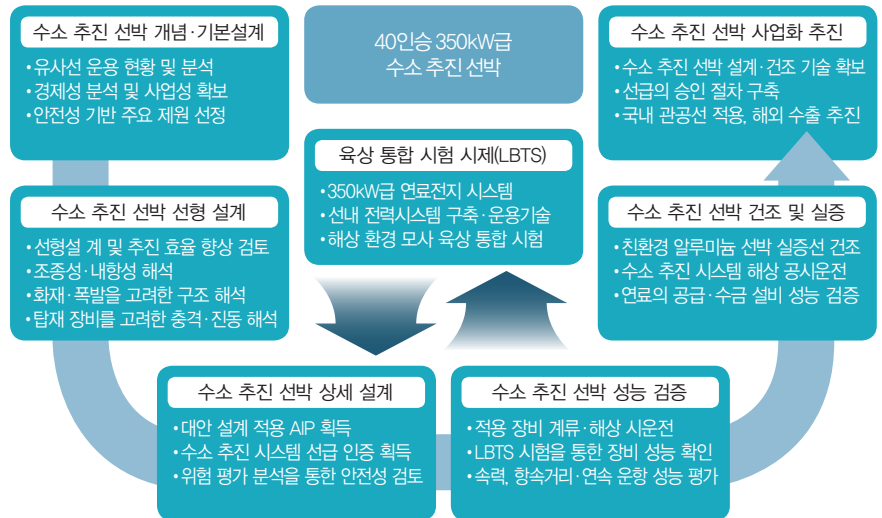
1세부는 세호마린솔루션즈에서 안전 기반 40인승 350kW급 수소 추진 선박 설계·건조·실증 및 안전 모니터링을 수행하며 동시에 선급 규정 개발에 참여한다. 2세부는 MRC에서 디지털 트윈 기반 통합 선박 제어 및 감시 시스템 개발을 추진하며, 3세부는 KTE에서 수소 추진 선박 육상 시험소(LBTS)를 활용한 연료전지 기반 전기 추진



시스템 기술개발을 진행한다. 마지막으로 4세부는 한국수소산업협회에서 경제성 분석 및 산학연 네트워크 구축을 통한 수소경제 활성화를 위한 연구를 수행한다.

이 중 1세부에서 안전 무결성 기준 기반의 정량화 기술을 적용한 국내 연안 선박에 대한 수소 추진 선박의 표준 모델을 제시하는 연구를 주관하는 세호마린솔루션즈가 개발하는 기술만 살펴보면 다음과 같다. 수소연료 추진 선박은 전통적인 디젤엔진 대신 연료전지에 수소와 산소를 공급한다. 이때 물과 열을 발생시키는 화학반응을 활용해 열에너지를 전기에너지로 전환해 선박의 동력으로 이용한다. 특히 해운산업에서는 향후 수십년간 탄소배출 제로 규제가 부합해야 하는 새로운 과제에 직면한 상황에서 수소는 해운 분야에서 더 먼 거리 운항과 더 큰 에너지 확보가 가능한 몇 안 되는 배출 제로 솔루션 중 하나다. 하지만 수소가스는 가연성, 폭발성이 존재하며 천연가스를 비롯한 다른 가스에 비해 안전과 관련한 특성이 다르다. 또 국제 해사기구(IMO), 기국, 선급협회 모두 수소 추진 선박에 대한 만족스러운 규칙 및 요구사항이 부재한 실정이다.

선박 연료로 수소를 안전하게 도입하려면 수소의 안전과 관련한 특성과 수소의 해상 사용이 미칠 잠재적 안전 영향 지식과 이해를 갖추는 것이 필요하다. 따라서 세호마린솔루션즈는 본 프로젝트에서

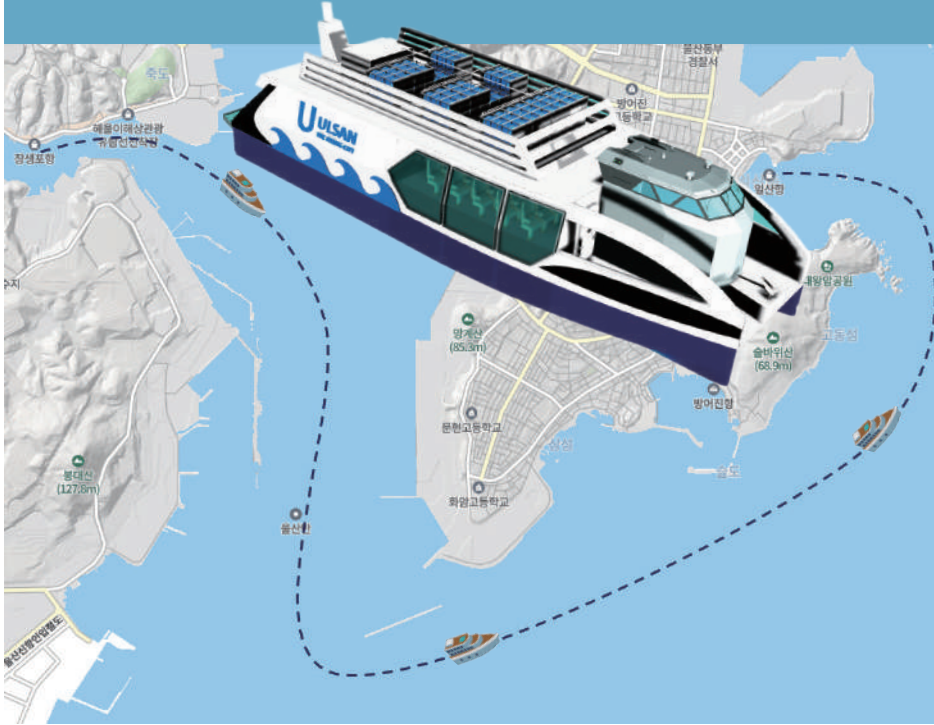


“
선박 연료로 수소를 안전하게 도입하려면 수소의 안전 관련 특성과 수소의 해상 사용이 미칠 잠재적 안전 영향 지식과 이해를 갖추는 것이 필요하다.
 ”

위험 기반 접근 방식을 디지털 트윈과 결합해 위험을 추적하고 표시함으로써 품질이 탁월한 수소 선박 프로토타입을 개발해 친환경·경제성까지 확보하는 수소 추진 선박 통합 플랫폼 기술개발을 목표로 하고 있다.

이렇듯 본 프로젝트는 수소 활용을 통해 에너지소비의 탈탄소화로 온실가스 감축에 크게 기여하고, 수송 및 발전 등 다양한 분야에서 미세먼지 저감으로 사회적비용 절감이 가능하다. 국립환경과학원(NIER, 2018)에 따르면 선박에서 배출된 총량(CO, NOx, SOx, TSP, PM10, PM2.5, VOCs, NH3)은 국내 전체 발생량의 6.4%로 나타났다. 이 중 NOx는 13.1%, SOx는 10.9%, 미세먼지(PM10/PM2.5)는 9.6%로 나타나 친환경 선박 교체로 사회적비용을 절감할 수 있다.

안전 기반 40인승 350kW급 수소추진선박



주요제원
20×9×2m
(길이×폭×깊이)



순항속력
8노트
(연속 4시간 이상)



승선 인원
총 42명
(승무원 2명 포함)



운항 거리
40마일
(장생포~일산항)

1차 연도(개념설계)

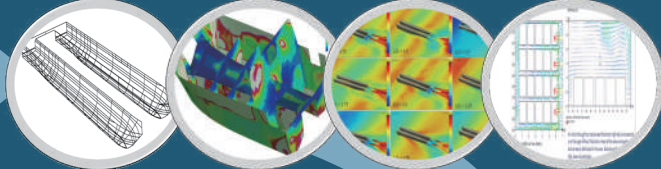


AIP 획득

대안설계
수행

벙커링
방안서

2차 연도(기본설계)



선형설계

구조
해석/설계

내항/복원성
해석

주요 장비실
통풍 CFD



5차 연도(실증 및 해석)



장비 통합
시운전

해상
시운전

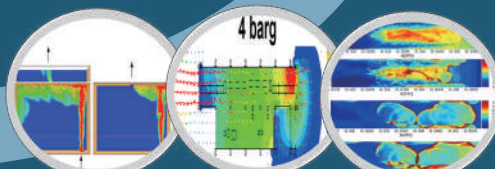
4차 연도(선박 건조)



선체 건조

주요 장비
탑재

3차 연도(상세설계)



누출 CFD

폭발 CFD

화재 CFD



수소 추진 선박 표준 모델 제시

세호마린솔루션즈는 본 프로젝트에서 사용자 요구사항 분석부터 설계, 구현, 검증 및 확인, 운용에 이르기까지 모든 단계를 수명주기 관점을 고려해 사용자의 요구사항을 충족하도록 경제적·균형적으로 체계를 개발하는 체계 공학 기법을 적용하고 있다. 또 본 프로젝트의 핵심인 안전을 기반으로 한 수소 추진 선박 상용화를 도모하고자 기존 선박에서 운용하지 않은 새로운 수소 추진 시스템을 선박에 적용할 예정이다. 국제해사기구(IMO)의 대안설계 절차를 따르면서

기존 선박과 동일한 안전성을 확보하기 위해 IMO의 공식 안전성 평가(Format Safety Assessment) 기법을 적용한다. 더불어 수소 누출, 확산, 화재, 폭발 등 수소 관련 위험성 평가는 시뮬레이션 기법을 적용해 진행할 예정이다.

한편, 2022년 4월에 착수해 2026년 12월 완료를 목표로 57개월 동안 추진되는

대형 프로젝트에서 세호마린솔루션즈는 1차 연도 개념설계를 완료하고, 5월에 획득을 목표로 진행하는 한국 선급 AIP 준비 및 2차 연도 기본설계를 수행하고 있다. 이후 3차 연도에는 상세·생산설계 및 수소연료전지를 포함한 추진시스템에 대한 육상 시험소(LBTS) 연동 시험을 수행할 예정이다. 4차 연도 선박 건조 및 5차 연도 해상 실증 시험을 통해 한국 선급으로부터 승인 획득을 목표로 추진하고 있다. 이러한 다각적 연구 활동을 기반으로 세호마린솔루션즈는 연근해 수소 추진 선박에 대한 표준 모델을 제시할 계획이다.



미래 먹거리 친환경 중소형 선박에 도전하는 세호마린솔루션즈(주)

울산 유일의 친환경 중소형 선박 신조 설계 및 대형 선박 개조 엔지니어링 전문 회사 세호마린솔루션즈(주)는 국내 굴지의 조선소 출신 설계 엔지니어들이 주축을 이루고 있다. 특히 잠수함, 수상함 등 특수선 분야에서 수십 년간 경력을 쌓은 설계 엔지니어들이 전기 추진선과 수소연료 추진선 설계 및 개발에 앞장서고 있다. 대형 선박 SOx 스크러버 설치 개조 엔지니어링 수행 실적이 30여 척에 달하며, 디젤 추진선을 LNG 이중 연료로 개조하는 기본설계는 ABS(미국 선급) 및 BV(프랑스 선급)로부터 4건의 AIP(인증서)를 세계 최초로 획득하며 대형선 개조 엔지니어링 분야에서 두각을 나타내고 있다. 2020년에 이미 전기 하이브리드 추진 잠수함용 예인정 개념설계를 해군에 제공했으며, 54FT급 전기 추진 쌍동선 설계, 20톤급 전기 추진 생태 체험선 설계 등을 고객사에 공급한 바 있다. 또 40인승 350kW급 수소연료 추진선 유람선 기본설계 및 선형을 개발했으며, 20톤급 수소연료 추진 청항선 설계를 수주해 진행 중이다. 이 외에도 전기 추진 시스템의 국산화 달성을 목표로 연관 장비 업체들과 협약을 맺고 추진 모터, 배터리팩, 마린용 수소연료 추진 시스템 등 주요 기자재를 공동 개발하고 있다. 이러한 세호마린솔루션즈에서 최근 넷제로(NetZero) 달성이라는 글로벌 트렌드에 발맞추기 위해 전기 추진 시스템 및 수소연료 추진 시스템 개발에 역점을 두며 미래 먹거리인 친환경 중소형 선박 분야에 총력을 기울이고 있다. 이러한 목표를 달성하기 위해 세호마린솔루션즈는 전기 추진 시스템, 수소연료 추진 시스템, 자율 운항 등 새로운 기술을 마린 분야에 접목하는 R&D와 산학연 네트워크를 강화할 계획이다.

사람 중심 친환경 에너지 기술 기업

전원 독립형 파워 패키지용 고품질 고온 연료전지 시스템 및 핵심 소재 부품 개발 피엔피에너지텍(주)

국내 수소 산업은 발전용 연료전지를 중심으로 한 초기 단계를 거쳐 2022년 이후에는 수소자동차를 중심으로 빠르게 성장할 것으로 전망된다. 수소에너지 종합 엔지니어링 솔루션업체 피엔피에너지텍(주)의 독창적 아이디어와 뛰어난 연구개발(R&D) 성과가 본격적인 수소 산업 시대를 앞두고 이목을 집중시키고 있다.

✍ 조범진 📷 김기남



연료전지, 수소에너지 등 친환경 에너지 기술 선도 기업

피엔피에너지텍(주)은 2004년 에너지 기술개발 사업을 목적으로 설립됐다. 주요 사업 분야는 고분자 전해질 연료전지 (PEMFC), 고체 산화물 연료전지(SOFC) 등 각종 연료전지를 테스트할 수 있는 스택(Stack) 평가 장치와 주변기기(Balance of Plant, BOP) 부품을 개별적으로 테스트하는 개별 부품 평가 장치, 전체적 시스템의 구성을 확인할 수 있는 시스템 평가 장치 등이다.

특히 피엔피에너지텍은 연료전지 테스트 장치에 대한 독창적 기술 노하우를 보유하고 있으며, 이에 따라 각 기업의 테스트 조건에 맞는 장치를 주문 및 맞춤형 생산해 제공하고 있다. 최근에는 연료전지의 역반응을 이용해 수소를 생산하는 수전해 기술 연구가 활발히 진행되고 있어 이와 관련한 평가 장치의 매출 또한 증가하고 있다.

이용현 대표는 “당사는 연료전지를 비롯한 대체에너지 및 수소에너지 응용 기술과 기계장치 등 엔지니어링 기술력을 기반으로 친환경 에너지 기술을 선도하는 기업”이라며 “특별한 경험과 가치로 수소 경제의 핵심을 이끌고 있으며, 2021년 수요 확대에 대비하는 것은 물론 R&D 인프라 확충을 위해 국제과학비즈니스벨트 신동지구로 제1사업장을 확장 이전하는 등 수소 산업 분야의 기술을 선도하는 강한 기업으로 거듭나 세계시장 진출에도 청신호가 켜졌다”고 말했다.



고온 연료전지 시스템 개발 과제 수행 중, 20kW급 시스템 구현 박차

현재 피엔피에너지텍이 수행하고 있는 '전원 독립형 파워 패키지용 고품질 고온 연료전지 시스템 및 핵심 소재 부품 개발' 과제는 연료전지 중 SOFC 시스템을

개발하는 것이다. SOFC의 핵심 소재와 부품을 개발하고, 이를 적용한 최종 시스템을 설계 및 제작해 그 성능을 입증하는 것이 본 과제의 목표다.

이에 따라 피엔피에너지텍은 1단계 마지막 해인 2021년 말 5kW급 시스템 개발에 성공했으며, 2단계 마지막 해인 올해 5kW 시스템의 설계를 개선·보완하고 병렬 연결을 통해 20kW급 시스템을 구현하는 데 박차를 가하고 있다.

이에 대해 이 대표는 “연료전지와 이차전지 등을 연계한 친환경 하이브리드 동력원은



(왼쪽부터) 최재운 팀장, 여석구 팀장, 박인욱 연구소장, 이호현 대표, 박길원 팀장, 박창하 부장, 박창수 과장, 박현우 대리, 이희현 사원, 김영현 팀장



활용도가 높다. 우리가 잘 알고 있는 수소전기차가 대표적 예다. 또 이를 확장해 선박, 기차, 무인항공기 등 다양한 모빌리티에 적용할 수 있다”며 “본 과제에서 제품 개발에 성공해 용량을 늘린다면 건물용 등의 분산 발전 시장 외에도 대형 선박의 동력원 및 보조전원, 데이터센터 등 중요 시설의 백업 전원으로 활용할 수 있다”고 설명했다.

아울러 그는 “이렇듯 성장 가능성이 높은 SOFC의 경우 아직 해외 제품이 시장을 주도하고 있는 것이 현실이다. 하지만 국책과제 등을 통한 정부의 지원과 국내 연구진의 노력으로 머지않아 국내에서도 경쟁력 높은 제품을 볼 수 있을 것으로 확신한다”며 “본 과제를 통해 개발 중인 SOFC 시스템도 당사의 독창적 아이디어가 반영된 핵심 부품을 적용했다. 이를 통해 제품의 효율 및 원가 등에서 경쟁력을 갖춘 제품 개발이 가능할 것으로 판단된다”고 밝혔다.

해외시장 진출 모색, 기업 인지도 제고 노력

이 밖에 피엔피에너지텍은 SOFC와 관련해 시스템의 효율 향상을 위한 일체형 고온 BOP 부품 개발 국책과제에도 참여하고 있으며, SOFC 시스템 개발 과제와 연계해 고효율 SOFC 제품 개발에 기여하고 있다.

또 수소 저장 합금 시스템 개발 국책과제를 수행했으며, 고체 산화물 수전해(Solid Oxide Electrolysis Cell, SOEC) 시스템 개발과 관련해 자체적으로 기초연구를 수행하고 있다. 이외에도 수소전기차에 사용되는 연료전지 시스템을 활용한 새로운 모빌리티 동력원 개발 국책과제에 참여하는 등 다양한 기술적 경험과 뛰어난 엔지니어링 기술력을 바탕으로 수소 산업 분야 기술개발의 방향성을 제시하고 있다.

한편, 앞으로 계획 및 목표와 관련해 이 대표는 “우선 올해가 과제의 마지막 해이므로 성공적으로 목표를 달성할 수 있도록 최선을 다할 계획이다. 이후 다른 국책과제에서 개발 중인 통합형 BOP 부품 등을 적용해 효율성이 높고 용량도 증가한 SOFC 제품을 개발할 생각”이라면서 “연료전지와 함께 최근 관심이 증폭되고 있는 SOEC 관련 국책과제에도 적극 참여해 기술개발을 진행할 계획”이라고 말했다.

아울러 이 대표는 “해외시장 진출을 위한 가능성을 타진하고, 회사 인지도 제고를 위해 오는 4월 독일 하노버 박람회에 참가, 당사 및 제품을 홍보할 계획”이라며 “아직 가야 할 길이 험난하지만 차근차근 준비하고 실행해 목표를 달성할 수 있도록 최선을 다하겠다”고 덧붙였다.



이용현 피엔피에너지텍(주) 대표이사



(왼쪽부터) 고분자 전해질 연료전지 스택 평가 장치, 고체 산화물 연료전지 및 수전해 겸용 스택 평가 장치, 고체 산화물 연료전지 시스템.

R&D INTERVIEW

이용현 피엔피에너지텍(주) 대표이사

결국 결과를 만들어내는 것은 사람이다

-원활한 소통과 역량 향상 통한 성과 창출 및 공유 필요

Q 피엔피에너지텍의 R&D 전략과 역량은 무엇인가?
기술개발은 필연적으로 많은 실패를 통해 성공을 이루어나가는 과정이다. 실패는 항상 고통을 수반한다. 피엔피에너지텍의 경쟁력은 그러한 실패의 고통을 두려워하지 않고 새로운 도전을 추진해나갈 수 있는 DNA를 가지고 있다는 점이다. 창업 초기부터 지금까지 다양한 종류의 평가 장치를 개발하면서, 그리고 정부 연구개발(R&D) 과제에 참여하면서 많은 시행착오를 겪었다. 하지만 남들이 가지 않은 길을 스스로 개척해나간다는 자부심으로 자체 실험을 진행하고, 전문 연구 기관에 자문하며 독자적 기술 노하우를 터득해왔다. 또 설계자와 기술진 간 충분한 논의를 거쳐 기술적 난제를 해결하고 신속하게 제품을 만들 수 있는 체계를 구축하는 데 집중했다. 이렇듯 겹겹이 쌓인 경험치와 새로운 것에 대한 두려움 없는 도전 자세가 피엔피에너지텍의 역량이다. 더불어 진행 중인 과제 등을 토대로 고온 연료전지 시장에 진출한 후 수전해 시스템 기술을 확보해 그린수소 관련 시장에 대응해나갈 생각이다. 시장의 요구가 있다면 연료전지와 수전해 운전을 번갈아 할 수 있는 양방향 고체 산화물 전지(Reversible Solid Oxide Cell, R-SOC) 개발도 고려해볼 수 있겠다. 회사의 사명은 'People & People'을 의미한다. 결국 결과를 만들어내는 것은 사람이고, 그래서 사람이 가장 중요하다. 나부터 사람들과 소통하기 위해 노력하고, 사람 간 소통이 원활한 기업 문화를 만들고자 한다. 그리고 그 사람들의 역량을 높이고, 이를 기반으로 성과를 창출해 공유하는 것이 내가 추구하는 회사의 방향이다.

Q 국내 수소에너지 산업의 발전을 위한 전략과 대책이 있다면 무엇인가? 아울러 정책과제 참여의 긍정적 효과가 있다면? 연료전지 및 수소 관련 기술의 상업화를 위해서는 기술 수준뿐 아니라

가격경쟁력도 중요하다. 기업 입장에서는 수요가 있어야 가격경쟁력이 높은 제품을 만들 수 있다. 현재는 이러한 수요를 만들기 위해 정부의 정책적 지원이 꼭 필요하다고 생각한다. 이 외에도 경쟁력 있는 제품을 생산하기 위한 연구비와 투자비 지원도 절실하다. 안정성 제고를 위해서는 관련 기준 및 규정을 구체적으로 법제화해야 하며, 더불어 제품이나 부품의 안정성을 평가할 수 있는 공인 기관과 평가 기관, 관련 설비 등도 확대해야 한다. 한편 당사와 같은 중소기업의 경우, 특히 정책과제는 여러 면에서 도움이 된다고 할 수 있다. 연구개발비 지원에서부터 다른 회사가 보유한 사업 분야와의 시너지 창출, 국내 대학 및 연구소의 우수 인력과 보유 기술 활용 등을 통해 부족한 기술을 보완할 수 있는 것이 정책과제의 긍정적 효과라고 생각한다. 과제를 수행하다 보면 대학과 연구소 등에서 최신 R&D 동향에 대한 정보를 공유할 수 있어 R&D 및 사업 방향을 수립하는 데 큰 도움이 된다.

Q 피엔피에너지텍의 기술이 경제적·사회적가치 형성에 어떠한 기여를 하고 있다고 생각하는가?
당사에서 개발한 여러 평가 장치는 발전, 건물, 수소전기차 등 다양한 연료전지 시스템 및 핵심부품 기업에 납품되면서 세계적으로 경쟁력을 갖춘 제품을 개발하는 데 기여하고 있다고 본다. 또 원천 및 핵심기술을 개발하는 대학 및 연구소에서도 당사 제품을 활용하고 있다. 앞으로 다가올 수소 사회에서 대한민국이 선도적 기술 보유국으로 발돋움하는데 피엔피에너지텍이 일조하고 있다고 자부한다. 정책과제 등을 통해 자체 개발 중인 SOFC 제품을 출시해 보다 큰 규모의 수소 전문 기업으로 성장한다면 대한민국 국가 경제에도 크게 기여할 수 있을 것이라고 생각한다.



대전에 소재한
국제과학비즈니스벨트 신동지구 내
피엔피에너지텍(주) 제1사업장 전경.



P&P ENERGYTECH

대규모 장거리 수소 운송 및 저장 기술



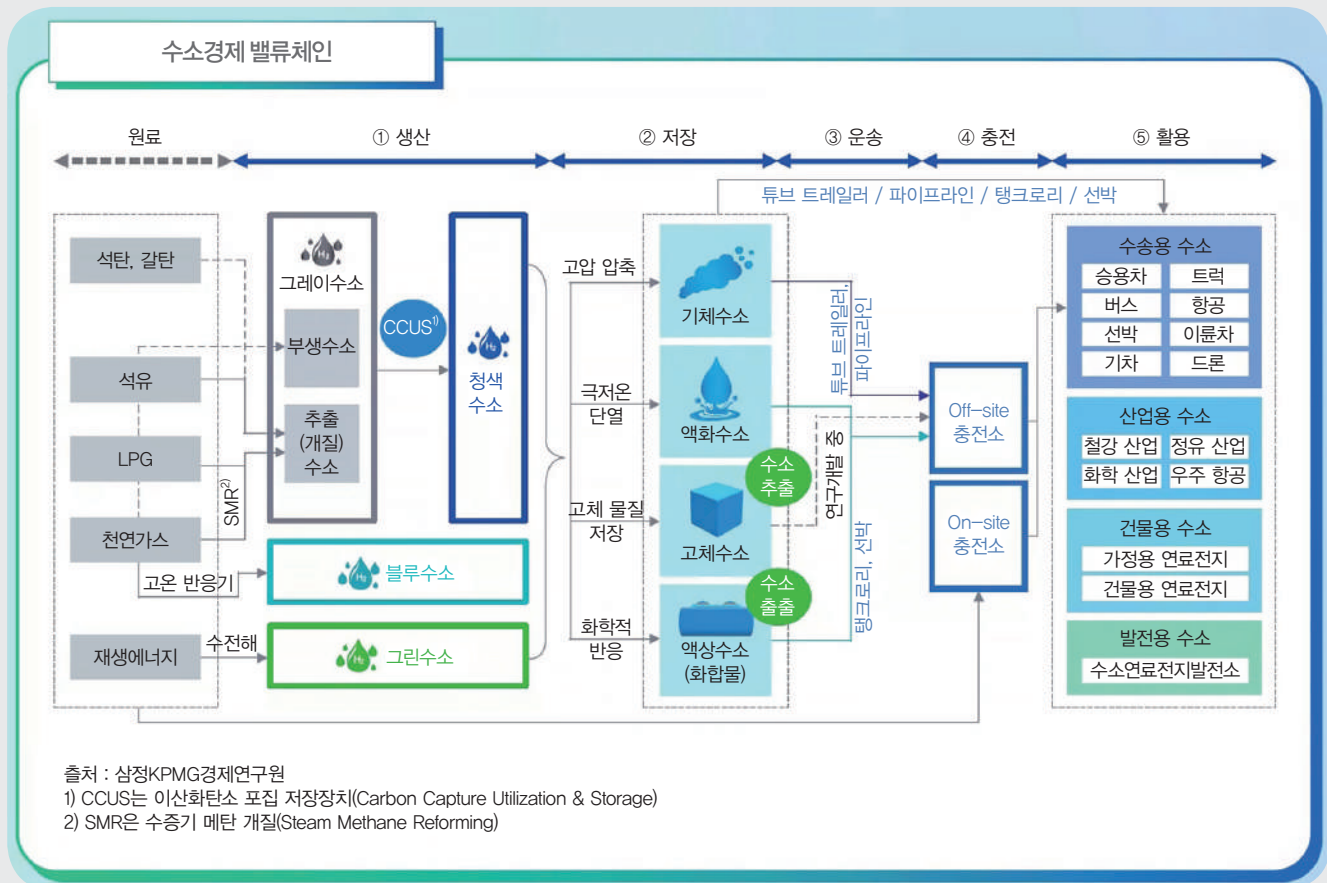
임태훈

[한국과학기술연구원(KIST)
수소·연료전지연구센터 책임연구원]

국내 수소경제 활성화와 수소 산업 발전을 도모할 수소 유통망 건설에 대해 살펴본다. 이와 관련해 국내 여건상 해외 그린수소 도입이 필요한 이유와 장거리 운송 및 저장을 위해 현재 전 세계적으로 진행하는 세 가지 방식, 즉 액화수소, 암모니아, LOHC 현황과 기술적 해결 방법을 소개한다.

우주 최다 물질인 수소 활용해 탄소중립 실현
오늘날 세계 각국은 기후변화 재난에 대응하고 동시에 지속가능한 발전을 추진하고자 탄소중립 정책을 천명하고, 구체적인 로드맵을 이행하기 위한 기술개발 및 새로운 인프라 구축에 많은 투자를 하고 있다. 인구 1인당 온실가스배출량이 세계 4위인 우리나라도 2021년 10월에 2018년 대비 -26.3%이던 '2030 NDC' 목표치를

-40%로 상향했고, '2050 탄소중립 시나리오'에 의한 온실가스 저감 계획을 발표한 바 있다. 이에 국내 산업계에서는 경쟁력 약화를 우려하는 불만의 소리도 들려오고 있지만, IPCC 6차 보고서에서 제안했듯이 지금의 상황은 탈성장(수요관리)을 포함할 정도로 강력한 탄소중립 정책 실행을 요구하고 있다. 결국 탄소중립을 실현하기 위해서는 탄소배출이 없거나

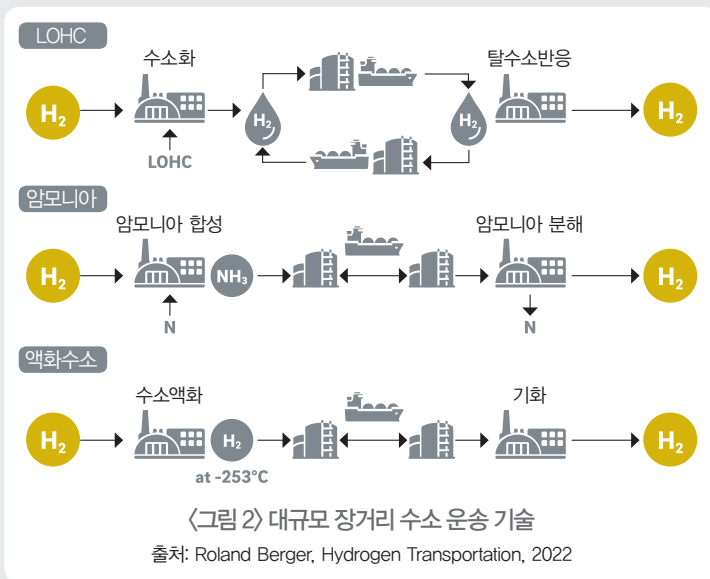


〈그림 1〉 수소경제 밸류체인

극히 적은 에너지 체제 도입이 필연적이며, 현실점에서 가장 현실적으로 도입 가능한 대안으로 수소경제가 주목받고 있다. 즉 수소경제 밸류체인을 나타낸 <그림 1>과 같이 재생에너지 기반으로 생산한 에너지는 필요에 따라 에너지 운반체인 수소로 전환해 운송 및 저장 등을 거쳐 에너지로 소비한 후 물로 순환하는 사이클을 돈다. 수소는 분명 우주 최다 물질이지만 대부분 화합물 또는 물로 존재하기에 이들로부터 추출·분해 과정을 거쳐 수소를 제조해야 한다. 이 과정에서 이산화탄소 발생 및 CCS 공정 도입 여부에 따라 수소는 그레이, 블루, 그린 등으로 구분한다. ‘재생에너지+물 분해’로 생산하는 그린수소를 활용하는 것이 수소경제의 최종 비전이지만, 관련 기술 성숙도 및 인프라 보급 미비 등으로 현재는 그레이수소가 초기 수소경제 도입을 이끌고 있으며, 2030년대 중반 이후부터는 블루수소와 그린수소 사용이 본격화할 것으로 전망된다.

대규모 장거리 수송의 필요성

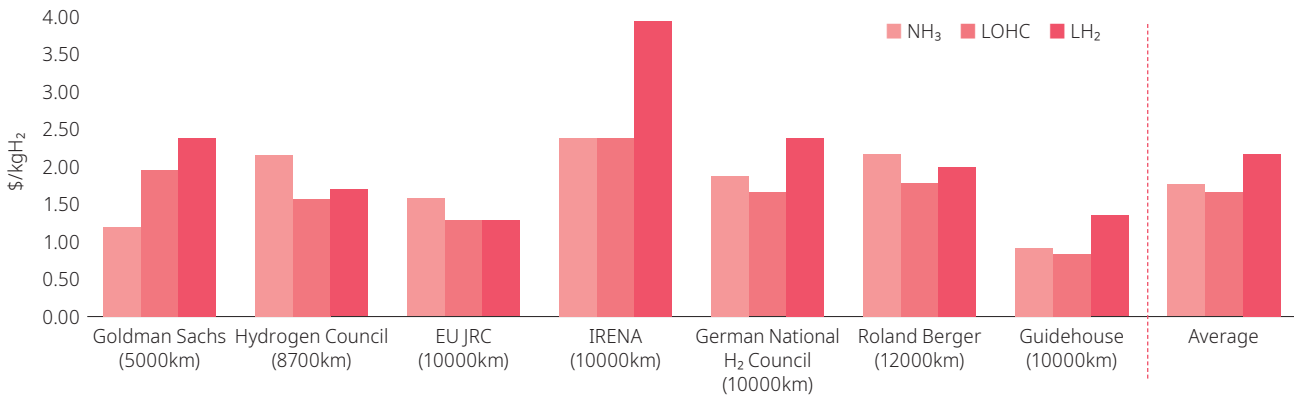
수소경제가 화석연료 중심의 에너지 체제를 대체하고 탄소중립을 달성하기 위한 핵심 역할을 하기 위해서는 청정 수소(블루수소+그린수소) 공급 기술을 확보해 사용량을 늘리고 관련 유통 인프라를 구축하는 것이다.



우리나라도 그간 수소차 및 발전용 연료전지 등 일부 활용 분야 중심으로 추진했던 정책 방향을 ‘청정 수소 공급망 구축 및 수소 산업 육성’으로 전환하고 관련 인프라와 제도 정비에 나섰다. 이에 따라 그린수소 생산용 수전해 기술개발과 수소 터빈, 수소·암모니아 혼소 발전 등에 대한 기술개발 및 실증을 통해 청정 수소 사용량을 늘려갈 계획이다.

제1차 수소경제 이행 기본 계획에 따르면, 우리나라의 청정 수소 수요량은 2050년 약 2800만t에 달해 국내 전체 에너지 수요의 20%를 담당할 것으로 추정되지만, 부족한 국내 재생에너지 생산 여건으로 이 중 80% 이상의 청정수소를 해외에서 들여와야 한다. 즉 2050년이 돼도 공급 가능한 국내산 청정 수소 양과 단가가 연 500만t 이하, 킬로그램당 3달러 이상으로 국내 수급 요건에 미흡할 것이기에 킬로그램당 1.5달러 이하로 생산된 그린수소를 호주 혹은 중동 지역에서 대규모로 수입하는 것이 거의 유일한 대안이다.

하지만 이처럼 대규모 수소를 장거리 운송하기란 매우 어렵다. 수소의 질량에너지밀도는 120MJ/kg으로 휘발유의 3배지만, 수소 기체의 부피당 에너지는 700기압에서도 4.7MJ/kg으로 휘발유의 약 7분의 1에 불과하다. 이는 기체 수소 상태로 대규모 장거리 운송은 적어도 상업적으로는 불가능하다는 점을 의미한다. 이 문제를 해결하려고 수소를 액화하거나 액상수소화합물 형태로 전환해 운송 또는 저장하는 방법이 이미 수년 전부터 개발되었다. <그림 2>의 화학 공정을 기반으로 액화수소, 암모니아를 생산하거나 톨루엔 메틸시클로헥산(Methyl Cyclohexane, MCH)의 수소화·탈수소화 공정을 수소 운반 수단으로 활용하는 액상유기수소운반체(Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC)가 가장 대표적이다. 이 세 가지 방법은 각각 기술개발 성숙도, 기존 인프라 활용도, 주민·사회적 수용성, 활용 범위 등에서 나름대로 장단점이 있어 향후 특정 기술이 독보적인 시장지배력을 확보하기보다는 시장 여건이나 상황에 따라 적절한 기술을 적용할 것이 유력하다.



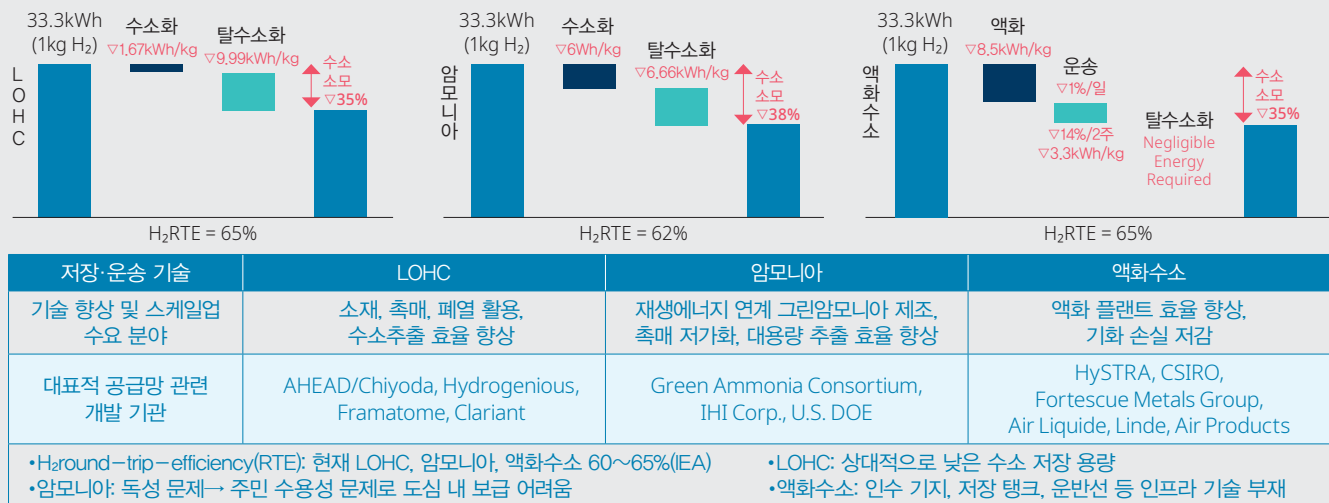
〈그림 3〉 암모니아, 액화수소, LOHC 운송 경제성 비교

출처: Mission Hydrogen Webinar, 2023.

5000~1만2000km 거리를 운송하는 다양한 경우를 상정하고 골드만삭스, 수소위원회(Hydrogen Council) 등 여러 기관이 세 가지 운송 방법에 대한 경제성을 검토했다. 〈그림 3〉의 결과가 보여주듯이 운송 거리, 육로와 해상 운송, 대상 지역의 특성 등에 따라 결과는 달라진다. 해당 연구를 2030년부터 2050년 사이 기간을 대상으로 진행했다는 점을 참고해 지금 우리나라가 투자해야 할 수소 운송 기술에 보다 면밀한 검토가 필요하다. 최근 정부의 계획과 국내 기업들의 투자 계획을 보면, 암모니아와 액화수소 기술 보급에 중점을 두고 있고, 또 국

내 연구진의 연구 결과도 암모니아 방식의 우월성을 지지하고 있지만 우리와 같이 해외 수소 도입이 강요되는 유럽이나 일본은 장기 저장성이 우수한 LOHC 기술개발 투자에도 적극적인 점을 국가 차원에서 한 번 더 살펴볼 필요가 있다.

〈그림 3〉의 결론으로 하이드로지니어스 LOHC 테크놀로지스(Hydrogenious LOHC Technologies)는 운송 후 킬로그램당 수소 평균가가 1.67달러인 LOHC 방식이 각각 1.78달러, 2.17달러로 계산된 암모니아 및 액화수소에 비해 경쟁력이 있다고 결론지었으나, 실제로



〈그림 4〉 대규모 장거리 수소 운송 방법의 현안

출처: IEA, Future of Hydrogen의 현재 수준 H₂ RTE 60~65% 발표 자료를 바탕으로 수소 저장·운송·추출 에너지 소모를 재구성함.

2달러 이하의 가격 달성은 세 운송 방법 모두 현재 기술 수준으로는 불가능하다. 2030년 호주 및 중동 지역에서 그린수소는 킬로그램당 1.5달러 이하에서 생산하겠지만, 우리나라까지 운송한 후 다시 수소로 전환하는 총비용을 0.5/kg달러 이하로 맞추는 것은 매우 어려운 과제다. 액화수소, 암모니아, LOHC 세 방법 모두 수소 전환 공정의 에너지 효율 부분에서 획기적 향상뿐만 아니라 재료 및 운영 소프트웨어에 이르는 관련 인프라 기술도 함께 발전해야 한다.

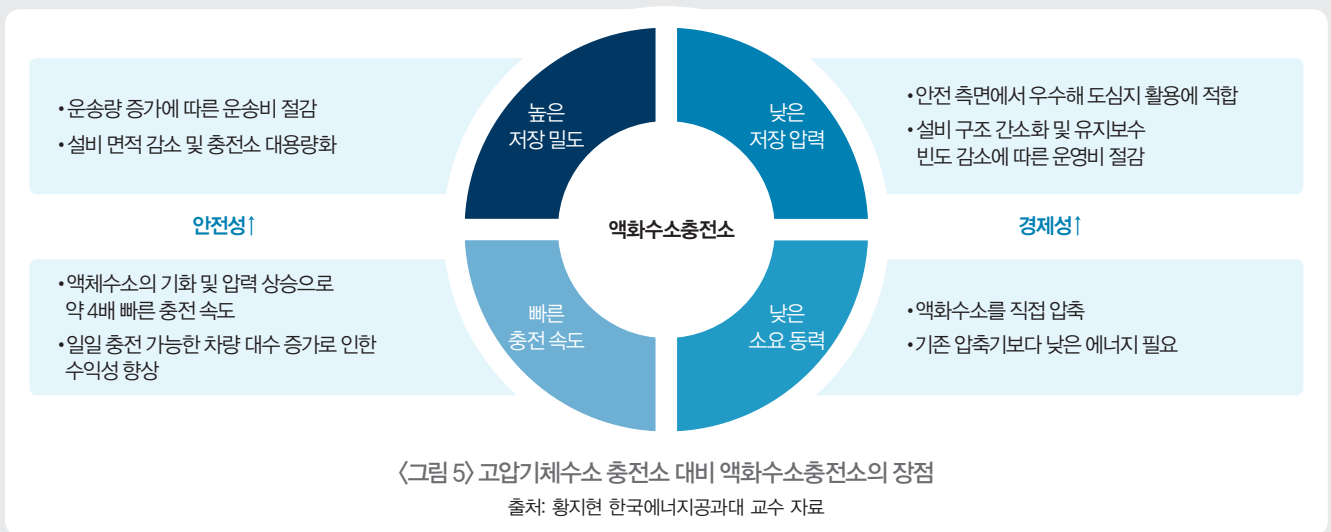
〈그림 4〉에서와 같이 암모니아 합성 및 분해, 그리고 LOHC의 수소화·탈수소화 사이클 공정에서 현재 기술의 에너지 효율은 65% 정도인데, 이는 투입한 수소의 35%를 에너지원으로 자체 소모한다는 의미다. 액화수소는 액화 과정에서 약 30%의 수소를 소모하지만, 이어지는 운송 및 저장 과정에서 증발로 인한 추가 손실이 불가피하다. 또 정도의 차이는 있지만 세 방법 모두 주민 수용성 부분에서 해결해야 할 숙제가 있다. 다음에서 액화수소, 암모니아, LOHC 방법을 추가로 살펴본다.

액화수소에 의한 운송

액화수소는 수소를 -253℃ 이하로 냉각해 만든다. 액화 과정에서 소요되는 에너지는 약 10kWh/kg로 수소 1kg이 갖는 39kWh/kg의 4분의 1 정도다. 따라서

〈그림 4〉에 보인 수소 전환 공정 에너지 효율 비교에서 경쟁 방식에 비해 10% 정도 유리하나, 운송 과정에서 증발 손실로 인해 최종 에너지 효율은 65% 정도로 경쟁 방식과 대동소이하다.

지금까지 액화수소의 용도는 주로 우주·군사 부문에 집중되어 민수용으로는 거의 쓰이지 않았으며, 이로 인해 관련 인프라 구축 정도가 경쟁 기술인 암모니아나 LOHC에 비해 많이 뒤떨어진다. 게다가 대형 액화수소 플랜트 기술은 린드(Linde), 에어 리퀴드(Air Liquide), 에어프로덕츠(Air Products) 3사가 독점하고 있으며 기술이전이 거의 불가능하다고 알려져 있다. 현재 전 세계 생산 능력은 미국 260T/D, 캐나다 80T/D, 유럽과 일본 각 25T/D 내외, 중국 5T/D로 전 세계를 합쳐도 약 400T/D(약 14만T/Y)에 불과하고, 우리나라는 2022년 현재 아직 액화수소 상용 플랜트가 없다. 향후 액화수소를 활용한 운송 및 저장을 본격적으로 사용하려면 액화 플랜트 공정 개선 및 증설, 대규모 운송 인프라 구축 및 운송수단(액화수소 운반선 등) 개발, 액화수소 저장 기술, 증발 손실을 막는 단열재 개발과 운영 기술 확보가 절실하다. 특히 장거리 운송이나 장시간 저장에 따른 증발 손실을 줄이는 기술개발이 핵심 이슈다. 이러한 개발투자를 본격화하려고 정부에서도 청정 수소 생태계 조성 방안 중에 액화수소 인프라·공급망



구축 관련 계획을 구체화했다. 우선 상용차 등 대형 모빌리티 수소 공급용으로 연 4만t 규모의 액화수소 플랜트를 건설하며, 기존 기체수소충전소를 액화수소충전소로 전환하기 위한 기술개발, 법적 기준, 시설 개조 등을 포함하고 있다. 현재 보급 중인 700기압 기체수소충전소에 비해 액화수소충전소는 <그림 5>에 정리한 장점이 있어 수소 수요량이 일정 규모 이상을 넘어서면 액화수소충전소 보급을 확대할 것으로 전망된다. 정부 지원 계획대로 진행된다면 2023년부터 인천, 울산 등 5개 지역에 총 120t/D 규모의 액화 플랜트가 국내에 건설되기 시작하고, 2030년까지 액화수소충전소 70개소, 약 3000t 규모의 수소 운반 시범선이 건조될 예정이다. 우리와 수소에너지 분야에서 치열한 경쟁 중인 일본은 2022년 초 세계 최초로 호주에서 생산된 수소를 액화수소 운반선으로 일본까지 운송하는 실증을 진행함으로써 액화수소 운송 개념을 증명했다. 아직 규모나 저장 탱크의 성능 등에서 많은 개선이 필요하지만, 우리나라 조선 산업의 뛰어난 기술개발 능력과 비교적 짧은 국내 육로 운송 거리를 고려할 때, 액화수소 운송 방식은 우리에게 좋은 선택이 될 것이고, 지속적인 인프라 구축 노력이 필요하다고 판단된다.

암모니아에 의한 운송 방식

요즘 수소경제와 관련해 가장 많이 언급되는 단어가 암모니아라고 생각한다. 암모니아는 질량당 17%라는 높은 수소 운반량에 이미 전 세계 생산량이 연 1억8000t으로 생산 및 유통 인프라를 완비하고 있다. 더구나 암모니아에서 추출한 수소로 연료전지 발전이 가능할 뿐만 아니라 석탄 등 화석연료와 혼소가 가능해 온실가스를 줄일 수 있어 국내외에서 많은 관심을 받고 있다. 최근 한국과학기술연구원(KIST)의 암모니아 개질 기술을 기반으로 창립한 아모지(Amogly, 미국 브루클린 소재)는 ‘탑재형 암모니아 개질기-연료전지 구동계로 드론, 트랙터, 대형 트럭 실증에 성공했다. 경제 매거진

<포춘> 잡지에 유망 스타트업으로 소개된 후 아람코, SK 등 국내외 투자 유치에 성공했고, 현재 암모니아에서 수소를 추출해 연료전지로 구동되는 선박 실증을 준비하고 있다.

이와 같이 암모니아는 높은 수소 함량, 상온/8.5기압 또는 -33℃/상압 정도의 온화한 액화조건, 직접 연소·혼소 가능, 완비된 기존 인프라망 등 장점을 보유하고 있어 경쟁 방식보다 훨씬 빠른 속도로 도입이 계획되고 있다. 특히 기존 화력발전소에 석탄과 암모니아 혼소 적용으로 초기 온실가스 감축에 크게 기여할 것으로 기대된다. 하지만 본격적인 암모니아 활용을 위해서는 ① 독성으로 인한 주민 수용성 문제, ② 암모니아 합성·분해 공정의 에너지 효율 증대, ③ 그린 암모니아 합성 공정 개발 등 세 가지 문제점 해결을 선행해야 한다. 주민 수용성 문제는 안전기술 보급 및 교육, 암모니아 적용 지역 제한(도심 또는 주거지역 제한적 활용) 도입 등으로 해결 방향을 설정할 수 있다. ②와 ③의 문제는 기존 하버-보슈 공정의 높은 활성화 에너지를 공급하려고 채택한 높은 공정 온도로 발생하는 낮은 암모니아 수율을 제고하는 공정을 개발하거나, 아예 전기화학적



<그림 6> 암모니아, 연료전지 구동 농업용 트랙터.

출처: Amogy(2022)

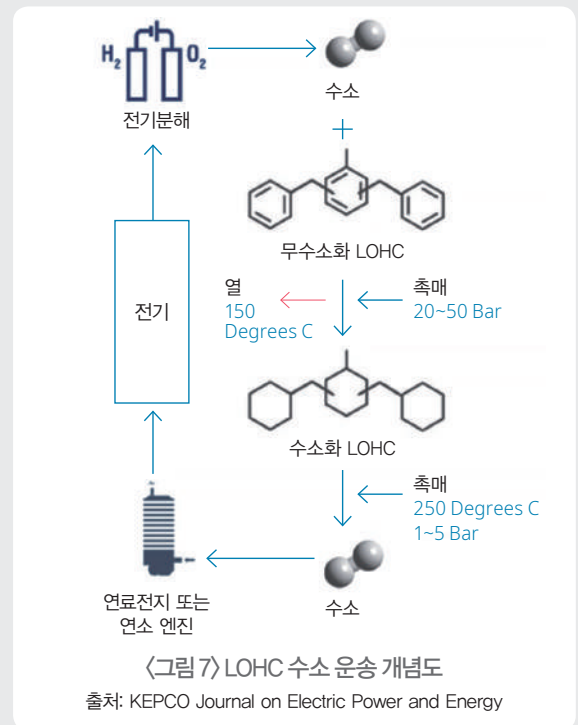
합성 또는 플라즈마 공정 등 새로운 합성 공정을 개발하는 것으로 해결이 가능하다. 이와 관련해 매우 고무적으로 이미 국내 여러 연구기관에서 괄목할 만한 연구 성과를 발표하고 있다.

최근 일부 언론에서 ‘암모니아 혼소 비용이 킬로와트시당 240원대로 수소 발전 비용 약 1000원에 비해 매우 싸다’ 또는 ‘암모니아 연소·혼소가 온실가스 감축에 기여하는 바가 없다’는 기사가 종종 보이는데, 이는 그레이 암모니아 사용을 전제로 한 이야기로, 수소경제의 궁극적 목표인 그린암모니아에는 맞지 않는다. 그린암모니아는 현재 유통하는 그레이암모니아보다는 매우 비싸지만, 향후 그린수소와 마찬가지로 가격이 하락할 것이고 온실가스 저감에도 크게 기여할 것이다. 다만 우리나라는 일본이나 유럽에 비해 향후 암모니아 비중을 2배 이상 계획하고 있는데, 이와 관련해서 폭넓은 의견 수렴이 필요해 보인다.

LOHC에 의한 운송 방식

LOHC에 의한 수소 운송 방식은 <그림 7>의 개념처럼 톨루엔, MBT (Monobenzyltoluene), DBT (Dibenzyltoluene) 등 주로 벤젠링을 포함하는 화합물의 수소화·탈수소화 반응을 이용해 수소를 운송 또는 저장하는 기술을 지칭한다. LOHC의 수소화·탈수소화 공정은 기존의 석유화학 공정에서 이미 완성된 기술이고 관련 인프라 및 공급망도 완비한 상태이므로 추가 투자가 거의 필요 없다. 오히려 석유화학 분야에서 생겨날 좌초자산을 활용할 수 있어 경제적으로 유리하다. 또 저장 용도 활용 시 저온, 고압 등 특수 환경이 필요 없고 물리적·화학적으로 안정·안전하기에 경쟁 방식보다 장기 저장에 특히 유리하다.

따라서 화학공업이 발달한 일본과 독일에서는 각각 톨루엔과 DBT를 기반으로 하는 LOHC 공정 개발에 이어 소규모 장거리 운송 실증을 완료했다. 국내에서는 한국전력공사, KIST 등에서 과학기술정보통신부 사업 등으로 톨루엔과 MBT의 수소화·탈수소화 공정개발을 진행



했으나 실용화에 꼭 필요한 후속 실증 사업은 지연되고 있다. 국가수소경제 계획에도 구체적 도입 계획을 명시한 액화수소나 암모니아와 달리 실증이나 인프라 구축 계획은 빠져 있어 국내 기업의 관심이 매우 미약한 실정이다. 반면 독일을 중심으로 유럽과 일본은 연료 성격이 강한 액화수소나 암모니아보다 수소 운반체의 특성이 강한 LOHC 중심의 장거리 운송 및 저장에 큰 관심을 보이며, <그림 3>의 여러 기관의 경제성 비교 결과를 바탕으로 다수의 기업체가 상용화에 참여하고 있다.

LOHC 방법을 상용화하려면 흡열 반응인 탈수소화 공정의 에너지 효율 개선, 수소화·탈수소화 엔탈피가 작은 LOHC 물질 개발, 탈수소화 반응기와 발열 반응의 연계 공정 도입(예, SOFC 발전 폐열 활용) 등의 기술적 문제 해결이 필요하다. 또 수소 전환 사이클당 손실이 미미해 수십 회 반복 사용 조건으로 진행되는 경제성 평가에서 LOHC 가격을 크게 고려하지 않더라도 1회 수소 운송량이 전체 무게 대비 6%에 불과한 LOHC 특성상 LOHC 생산 단가가 초기 투자 및 운영비에 미치는 영향은 반드시 검토할 필요가 있다.

수소를 통한 에너지 패러다임 전환

물에서 친환경 그린수소 생산으로 에너지 패권 장악

상용화하는 데 어려움을 겪는 그린수소 생산 기술의 패러다임이 바뀌고 있다. 기존 기술로 문제를 해결하기 어려운 상황임을 감안할 때 선제적 기술 경쟁력 확보가 무엇보다 필요한 시점이다.

✍ 유성중 [한국과학기술연구원(KIST) 수소·연료전지연구센터 책임연구원]

탄소중립과 수소경제

기후변화라는 전 지구적 위기에 맞서 전 세계가 기후 대책 마련에 적극적인 모습을 보이고 있다. 특히 화석연료 사용량이 점차 증가함에 따라 이산화탄소를 비롯한 온실가스 배출이 나날이 심각해지고 있다. 화석연료는 기후를 변화시켜 모든 대륙과 해양 전반에 걸쳐 자연 및 인간 사회의 시스템에 광범위한 악영향을 미치고 있다. 이에 유럽연합(EU), 중국, 일본, 한국, 미국 등은 유엔에 '2030 국가 온실가스 감축 목표'와 '2050 장기 저탄소 발전 전략'을 제출하며 탄소중립을 본격적으로 추진하고 있다.

우리 정부에서는 화석연료 중심의 에너지 시스템에서 벗어나 수소를 에너지원으로 활용하는 자동차, 선박, 열차, 기계 혹은 전기 발전 열 생산 등을 확대할 계획이다. 이에 따라 수소를 안정적인 생산 및 저장·운송하는 데 필요한 모든 분야의 산업과 시장을 새롭게 만들어내는 수소경제 시스템을 구축하기 위해 범정부적 노력을 기울이고 있다. 온실가스 배출량을 2017년 대비 24.4% 감축(2030년 목표 배출량 5억4300만t)하고, 2050년 탄소중립 및 향후 국정 방향을 그린뉴딜로 선정함으로써 에너지 기술에 대한 지속적 투자 및 육성 정책을 강도 높게 진행하고 있다. 특히 정부는 수소경제 활성화 로드맵을 통해 최종적으로 2030년까지 수송차와 수소연료전지 부문 시장점유율 1위를 달성하는 한편 대기환경 개선은 물론 고부가가치 산업으로의 이전 등 수소경제 발전에 주안점을 두고 관련 정책을 추진하고 있다.

2022년에 들어선 새 정부에서도 수소 산업 육성과 관련해 청정수소 생산기지 및 수소 액화 설비투자 확대, 수소 생산 기술을 국가 전략 기술로 육성하고 원자력을 이용한 수소 생산 기술 개발을 주요 공약으로 제시함으로써 이전 정부의 수소 정책을

그대로 이어갈 것으로 전망된다. 국회에서도 '수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법'(수소법) 개정안 등 다수의 법안이 상정돼 있으며, 입법 완료 시 정책적 지원이 더욱 활성화될 것으로 예상된다.

이러한 정부 차원의 정책적 지원뿐 아니라 민간 부문에서는 2021년 한국판 수소위원회 '코리아 H₂ 비즈니스 서밋'을 구성, 창립 총회를 연 바 있다. 이 수소위원회에는 현대차그룹, SK그룹, 롯데그룹, 포스코그룹, 효성그룹, 두산그룹 등 국내 대기업 열 곳을 포함해 총 15개 회원사가 참여했으며, 현대차·SK·포스코 등 3개 그룹이 공동 의장사를 맡았다. 이를 통해 개별 단위의 기업 경쟁력뿐 아니라 기업·정책·금융 부문을 하나로 움직이는 역할을 함으로써 수소 산업 생태계의 완결성과 경쟁력을 높이고 수소경제 발전에 기여하는 리딩 플랫폼으로의 성장이 기대된다. 수소차·연료전지를 중심으로 수소경제를 선도해 온 현대차, 두산그룹 외에도 주요 그룹이 수소경제 전략을 수립하고 있다. 대표적으로 수소 밸류체인을 구축 중인 SK를 비롯해 제철 공정에서의 탈탄소가 필요한 포스코, 재생에너지 사업을 전문으로 하는 한화, 충전·저장 인프라 구축을 준비 중인 효성, 수송 인프라를 주력사업으로 선정한 현대중공업그룹 등이 있다.

주요 국가의 수소 정책

2020년 현재 수소 생산 시장은 약 1억t 수준이며, 전 세계 1차 에너지 시장의 2%를 차지한다. 하지만 대부분 그레이수소 방식으로 이루어져 있으며, 청정 수소(그린·블루수소) 생산만 보면, 블루수소를 중심으로 연간 100만t 남짓한 시장이 형성돼 있다.



그린수소는 아직 시장을 논의하기엔 미미한 수준이지만, 2025~2030년 청정 수소 생산 규모의 경우 생산계획이 이미 발표된 수치만 놓고 볼 때 2025년까지 약 500만t, 2030년까지 1100만t 이상 될 것으로 보인다. 이러한 높은 성장세에도 불구하고 글로벌 에너지 시장의 0.3%에 불과한데, 그만큼 추가적 성장잠재력이 크다고 할 수 있다. 글로벌 수소 가격을 킬로그램당 3달러라고 가정할 때 청정 수소 시장은 약 300억 달러이며, 이중 그린수소는 약 70억 달러 규모의 시장이 형성될 것으로 예상된다. 다만 지난 2년간 발표한 프로젝트 수가 5배가량 증가한 것을 감안하면 실제 시장은 이보다 훨씬 더 커질 것으로 기대된다. 실제로 탄소중립에 필요한 청정 수소 생산량은 2030년까지 약 7000만t(전체 2억t) 수준에 이른다.

그린수소 시장 확대에 따라 그린수소 생산 장치라고 할 수 있는 수전해 장치(Electrolyzer, 전해조) 시장도 커질 것으로 보인다. 2020년 기준 수전해 시장규모는 연간 300MW 수준이었으나 2023년 1.5~2GW로 증가해 연간 20억~30억 달러의 시장을 형성할 것으로 전망된다. 2030년까지 누적 기준 최소 100GW 규모의 시장이 될 것으로 예상되는데, 이는 2030년까지 연평균 10GW 이상, 연간 100억~200억 달러의 시장이 형성될 것임을 의미한다.

미국 에너지부(DoE)는 최근 보고서에서 장주기 에너지 저장장치(ESS)에 대한 목표를 발표하고 향후 10년 안에 10시간 이상 주기를 갖는 그리드 스케일의 ESS 비용을 90% 감축할 계획이다. 이는 나날이 늘어나는 재생에너지 비중을 감안한 것으로, 배터리를 비롯해 압축공기, 수소 등이 주요 대상이다. 특히 수소는 저렴한 저장 비용과 저장 기간이 길다는 장점이 있어 기존 저장장치인 배터리 ESS를 보완할 수 있을 것으로 기대된다. 미국 수소 정책의 핵심은 청정 수소에너지 기술을 토대로 경제 전환에 걸쳐 융합하는 P2X에 기반하고 있으며, 이를 위해 수소의 생산 단가를 킬로그램당 1달러까지 낮추는 것이 궁극적 목표다. 수전해는 기존 기술인 저온형(PEM, 알칼라인)과 고온형(SOEC) 등을 모두 고려하고 있다.

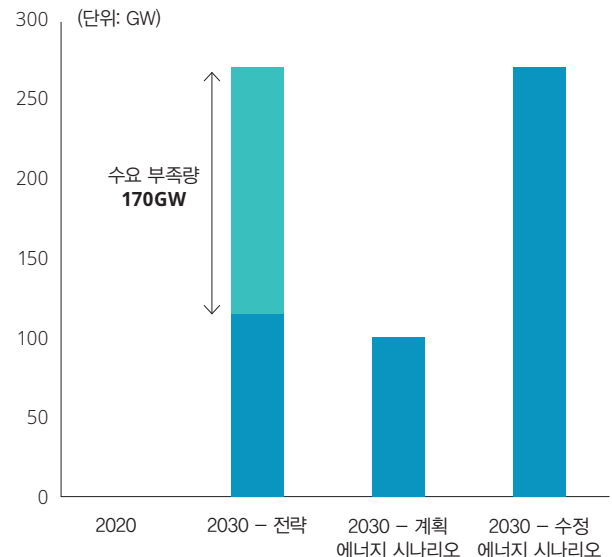
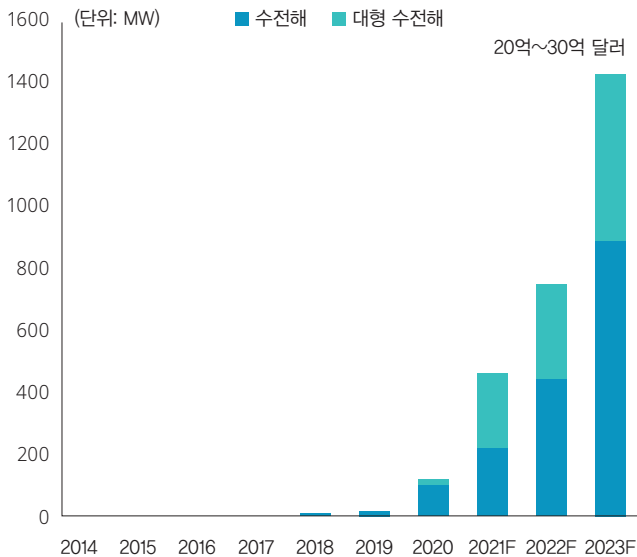
유럽은 최근 Fit for 55를 통해 'ReFuelEU'를 발표했으며, 이는 탈탄소화하기 힘든 항공 및 해상 운송의 연료 부문에서 탄소를 줄이는 계획이다. 이를 위해선 지속가능한 연료 생산이 필요한데, 핵심 요소로 폐기물 기반 바이오연료와 함께 그린수소를 제시하며, 저탄소 연료 보급을 위해 60km마다 전기 충전소 설치, 150km마다 대형 화물차용 수소 충전소 설치를 규정한 바 있다. 2035년까지 내연기관차 판매 종료 예정인 만큼 이번 발표를 통해 수소 충전소 보급 및 수소 생태계가 확대될 것으로 기대된다.

	생산			저장·운송	활용				
	그레이	블루	그린	저장·운송	FCEV	충전소	기타 운송	발전	산업용
현대자동차	■	■	■	■	■	■	■	■	■
SK	■	■	■	■	■	■	■	■	■
효성	■	■	■	■	■	■	■	■	■
롯데	■	■	■	■	■	■	■	■	■
한화	■	■	■	■	■	■	■	■	■
두산	■	■	■	■	■	■	■	■	■
GS	■	■	■	■	■	■	■	■	■
현대중공업	■	■	■	■	■	■	■	■	■
코오롱	■	■	■	■	■	■	■	■	■
삼성물산	■	■	■	■	■	■	■	■	■
DL이앤씨	■	■	■	■	■	■	■	■	■
이수화학	■	■	■	■	■	■	■	■	■
일진하이솔루스	■	■	■	■	■	■	■	■	■
E1	■	■	■	■	■	■	■	■	■
S-Oil	■	■	■	■	■	■	■	■	■
S-Fuelcell	■	■	■	■	■	■	■	■	■
삼천리	■	■	■	■	■	■	■	■	■
경동도시가스	■	■	■	■	■	■	■	■	■
고려아연	■	■	■	■	■	■	■	■	■

〈그림 1〉 국내 주요 기업의 수소 산업 추진 현황
출처: Deloitte

2019년 전국인민대표대회(전국인대)에서 수소 산업 계획을 밝히며 본격화한 중국의 수소 정책은 2020년 에너지법안에서 수소를 주요 에너지원에 포함한 후 힘을 얻고 있다. 2020년 에너지 법안에서 수소를 주요 에너지원으로 편입한 이후 14.5 계획(2021~2025년)을 통해 구체적 목표를 밝히기도 했다. 베이

징시는 2025년까지 수소 산업 누적 생산액 1000억 위안 달성을 목표로 하는 수소 산업 계획(2021~2025년)을 발표했다. 허베이 성 역시 수소 산업 발전 14.5계획을 발표하며 누적 수소 충전소 100개, 수소차 1만 대 생산 목표를 제시한 바 있다. 이를 통해 수소 산업 누적 생산액 500억 위안을 달성한다는 계획이다.

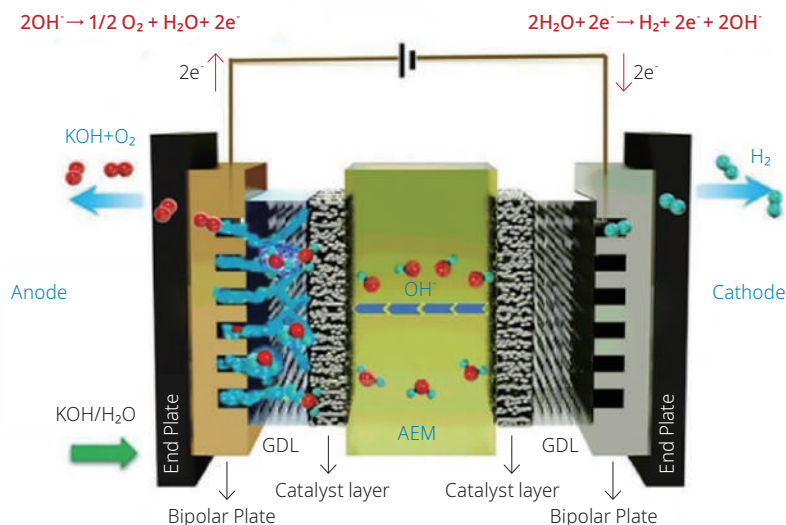


〈그림 2〉 수전해 설비 시장 전망 및 IRENA 시나리오 기반 2030년 수전해 시장규모
출처: IEA

일본은 2021년 7월 제6차 에너지 기본계획 초안을 통해 2030년 탄소 감축 목표(2013년 대비 46% 감축)를 위한 전력자원(전원) 구성안을 발표했다. 그린에너지 비중을 22~24%에서 36~38%로 확대했으며, 특히 수소 및 암모니아의 구성 비율을 1%로 책정해 아직 비중이 크지는 않지만 전원 구성비에 처음으로 포함시켰다. 또 기존 전원 중에서는 원전(20~22%) 목표를 유지하는 대신 석탄과 천연가스를 각각 26%, 27%에서 19%, 20%로 축소할 것으로 보인다. 일본은 지리적 특성으로 인해 재생에너지를 수입하는데 이때 수소 같은 매개체가 필수이므로 브루나이(MCH, LOHC의 일종, 호주(암모니아) 등에서 수소 수입 프로젝트 실증 사업을 활발하게 진행하고 있다. 올해 초에는 아랍에미리트(UAE)와 천연가스 개질을 통해 만들어진 암모니아 프로젝트 양해각서(MOU)를 체결했으며, 인접한 러시아의 동시베리아에서도 암모니아 공급을 추진하고 있다. 이러한 암모니아 공급사업은 천연가스 개질과 탄소포집·저장을 포함한 사업으로 블루 암모니아라 할 수 있으며, 암모니아와 MCH 같은 물질은 액화수소보다 수송이 용이해 수소 운반체로 고려하고 있다. 특히 암모니아는 기존 수송·저장 인프라를 이용할 수 있어 수소 운반체로서뿐 아니라 직접 연소를 통한 에너지원으로도 연구되고 있다.

차세대 수전해 기술로 그린수소 생산

전통적 산업용 수소 생산에 활용하는 알칼라인(AEC)과 양이온 전해질막(PEM) 수전해 기술을 재생에너지 설비와 연계하려면 기술적 진보가 필요하다. 즉 알칼리 용액을 전해질로 사용하는 AEC 수전해 기술은 내구성이 좋은 데다 설비 가격이 낮은 반면, 타 기술 대비 부피가 크고 불규칙한 출력 특성을 지닌 재생에너지 전력과 연계 시 생산 수소의 순도가 낮아지고 내구성 및 효율성이 떨어지는 단점이 있다. 또 PEM 수전해 기술은 사용 전력의 빠른 반응 속도로 인해 재생에너지 전력 연계에 적합하지만, 전극으로 백금과 이리듐 같은 고가 금속을



〈그림 3〉 음이온 교환막(AEM) 수전해 구성

출처: 한국과학기술연구원(KIST)

사용해야 하므로 설비 가격이 매우 높다.

현재 상용화하는 데 어려움을 겪는 기존 수전해 기술의 진보가 무엇보다 시급한 상황이다. 이에 대한 대안으로 전 세계적으로 각광받는 차세대 수전해 기술은 AEC와 PEM 수전해의 장점을 결합한 음이온 교환막(AEM) 수전해 기술이다. AEM은 알칼라인의 알칼리성 작동 환경과 고분자 전해질막을 사용하는 PEM의 구조를 혼합한 기술로, 가격이 비싸고 매장량이 한정된 귀금속 소재를 전혀 사용하지 않는다. 따라서 경제적이면서도 불규칙한 재생에너지의 출력 특성에 빠르게 반응해 그린수소 생산의 최적화된 기술로 급부상 중이다.

유럽과 일본 기업이 중심으로 AEM 수전해 기술의 상용화가 시도되고 있지만, 아직까지 세계적으로 성공한 기업은 없다. 따라서 국내 기업이 선도적으로 기술 확보 및 사업화에 나설 경우 전 세계 수전해 시장을 선점할 수 있는 좋은 기회가 될 것이다. 이를 위해 정부가 나서 글로벌 수소 생산의 주도권을 획득할 수 있도록 차세대 수전해 및 관련 융합기술 개발에 적극적 투자와 함께 정책적 장려가 이뤄져야 한다. 또 국제표준을 선점할 수 있는 관련 핵심기술의 표준화 작업도 수행할 필요가 있다. 정부는 물론 국내 기업도 기존 해외 수전해 기술 도입에 의존해 근시안적 성과 창출에 급급해하는 대신 차세대 수전해 기술개발에 대한 점진적 접근이 필요하다.

수소경제, 2050년 2000조 원 규모 민간 생태계 구축, 전략적 협업 긴요

글로벌 수소경제 규모는 계속 확대될 전망이다. 2050년 글로벌 수소경제 전체시장 규모는 약 2000조 원에 이를 것으로 예상되며, 전체 가치사슬 즉 가치 창출의 완결성을 보유한 수소경제 생태계를 조기에 구축한 국가가 가장 큰 부가가치를 확보할 것으로 전망된다.

최용호 [딜로이트 컨설팅 코리아 에너지섹터 리더]

Hydrogen Economy

가치사슬 간 효과적 생태계 조성

수소경제가 발전하기 위해서는 개별 기업의 경쟁력이나 기술 수준이 아니라 플랫폼, 조선 등을 위시한 대형 인프라 산업부터 부품 소재 산업까지 아우르는 전체 산업생태계의 완결성과 경쟁력을 전반적으로 제고하는 것이 중요하다. 가치사슬 간 생태계를 효과적으로 조성하지 않으면, 개별 단위의 하위 산업에서 성공해도 곧 성장의 한계에 부딪히기 쉽기 때문이다.

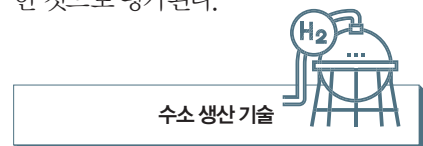
글로벌 수소경제의 가치사슬이 완성되고 경쟁 구도가 고착하기 전에 전체 가치사슬에서 확실한 시장 지위를 확보하는 것이 중요하다. 수소를 위시한 에너지 산업은 거대 인프라 투자를 요구하고, 보유 기술의 실제 프로젝트로의 적용 경험 유무와 기업 간 기술 표준화가 무엇보다 필요하다. 한번 고착화된 경쟁 구도를 되돌리기란 무척 어렵다는 건 이미 증명된 바 있다. 우선 국내 수소 기술 발전 상황과 경쟁력을 점검하고, 민간 기업 투자가 활발하게 일어날 수 있도록 생태계를 활

성화해야 한다. 기업 간 협업 역시 필연적으로 요구된다.

국내 수소 기술 성숙도 점검

한국 수소 산업은 유럽과 일본보다 생태계 기반 자체가 미약한 실정이다. 유럽은 이미 오래전부터 탈탄소와 친환경 기술을 기반으로 한 온실가스 문제해결 가능성에 주목해왔다. 예컨대 풍부한 신재생에너지의 잉여전력을 이용해 수소를 생산하는 P2G 등 다양한 실증 등을 진행하면서 기존의 가스 그리드를 활용해 수소를 운송하려는 기술 시도를 추진해왔다. 일본은 일찍이 WE-NET 프로그램 등으로 수소에너지를 국가경제의 성장엔진으로 삼아 연료전지 기술과 수소 이용 기술 및 개발 투자를 정부 기관인 신에너지·산업기술개발총합기구(NEDO) 주도로 진행했다. 2009년부터 가정용 연료전지 시스템인 에네팜(Ene-Farm)을 도입했고, 연료전지 분야 특허출원 건수와 연료전지 상품화 및 보급 실적은 세계 최고 수준이다. 반면,

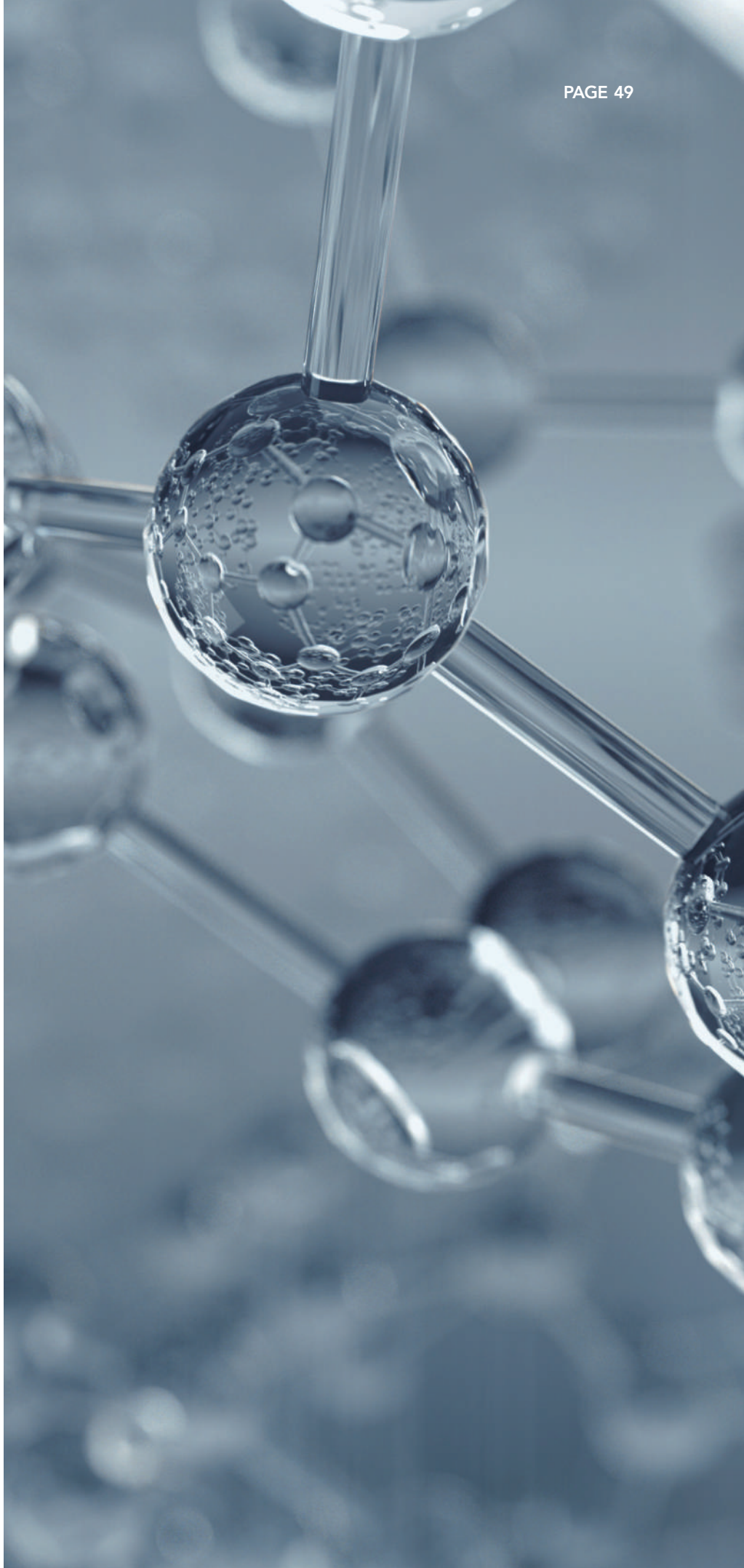
한국의 수소 기술 및 산업 경쟁력은 수소차와 연료전지 분야 등 일부 활용 영역을 제외하고는 원천기술력의 미흡과 높은 핵심 소재 부품 수입의존도로 기술 발전 단계상 시제품 생산 단계에 위치한 것으로 평가된다.



현재의 글로벌 수전해 용량 대부분은 저비용·대용량에 유리한 알카라인(Alkaline) 방식이지만, 향후 PEM 기술의 급성장이 예상된다. 재생에너지와의 직접 연계 목적으로 개발한 알카라인 2세대 기술은 부하전극, 셀·스택, 분리막의 내구성 및 안정성 향상을 통해 부하변동 대응 능력을 높이는 방향으로 연구를 집중할 전망이다. PEM 기술은 스택 원가 절감을 도모하기 위해 고가 귀금속 촉매 사용량 감소를 위한 고효율 및 활성화 촉매 개발에 힘쓰며, 전해질막 두께 감소를 통한 효율 증대로 전력 소요량을 줄이는 데 초점을 맞추고 있다.

글로벌 수전해 프로젝트는 규모의 경제 달성을 위한 대형화 추세가 뚜렷하며, 기존 대규모에 적합한 알카라인 기술뿐 아니라 PEM 기술을 적용한 GW급 대형 수전해 시설 투자 가속화가 전망된다. 이에 따라 글로벌 선도사들은 규모의 경제 달성을 통한 원가절감을 목표로 PEM 설비의 단일 스택 규모 대형화, 여러 개의 PEM 스택 모듈화, 구축 시스템 대용량화 기술개발을 진행 중이다. 국내에서는 소형 수소 생산 시스템 상용화와 기술개발을 진행 중이고, 대형 수소 생산 시스템은 해외 기술에 의존하고 있다. 수전해 기술은 원천기술을 개발 중인 상태로 선진국을 추격하는 단계이며, 상용급 수소 생산 기술은 상당히 지연된 상태로 보인다. 글로벌 선도국 대비 알카라인과 PEM 기술 모두 개발 착수가 10여 년 뒤쳐진 상황이며, 수전해 성능 지표인 스택 효율과 스택 용량 측면에서 모두 열위인 것으로 평가된다. 특히 한국의 알카라인 기술은 1세대 수준으로 부하변동 대응력이 떨어져 차세대 기술개발이 절실하며, PEM 기술은 스택 대면적화 기반 원가절감에 집중하나 모듈화 및 회수 기술 등 해외 벤치마킹이 필요한 상황이다.

수소경제의 핵심은 그린수소 생산이다. 하지만 그린수소는 아직까지 높은 생산단가와 기술력 한계로 새로운 수소 생산 대안이 논의되고 있다. 바로 원자력발전을 통해 생산한 전기와 열(증기)을 이용한 수소 생산 방식, 핑크수소다.



특히 EU와 한국 탄소노미에 원자력이 포함되면서 원자력을 이용한 수소가 탄소중립의 효과적 수단이 될 수 있다는 근거를 확보한 것으로 보인다. 원자력발전의 저렴한 전기를 활용해 수소를 생산할 때 최대 장점은 수소 생산 단가다. 킬로그램당 2.5달러에서 국내는 1.7달러까지 줄일 수 있다고, 원자력업계는 평가하고 있다. 원자력 수소는 초고온가스로(VHTR)를 이용할 때 높은 출구온도(700~950℃)로 인해 가장 높은 효율을 기대할 수 있으나(레드수소), VHTR의 기술성 및 경제성 실증이 필요한 단계인 만큼 2030년대 중반까지는 원전에서 생산하는 증기와 전력을 함께 사용해 600℃ 이상의 고온 수증기를 전기분해하는 고온 수전해 수소(피플수소)가 대세를 이룰 것으로 전망된다.

수소 운송 기술



수소경제가 본격적으로 활성화되기 이전, 국내 수소 산업은 정유 및 석화 공정 등 산업용 수요 대응을 위한 부생수소 공급에 한정된 산업용 수소 사업자 중심의 생태계였다. 수소 운송 방식 역시 덕양, 창신, SPG, SDG 등 수소 제조기업들이 석유화학단지에서 공급받은 부생수소를 정제해 고순도화한 후 튜브 트레일러에 200기압(bar) 압력으로 압축 저장해 공급하거나 울산 등 석유화학단지 내 수소 공급을 위한 수소 배관으로 공급했다. 200bar 수준의 저압 저장 용기로 수소를 튜브 트레일러를 통해 운반하다 보니 대량 유통이 어렵고, 수소차에 충전하려면 200bar의 수소를 450bar로 한 차례 압축한 후 875bar로 재차 압축하는 과정이

필요하다는 점도 애로 사항이었다. 하지만 수소 튜브 트레일러의 압력, 용적 기준 제한을 완화해 450bar/450L 이하로 확대함에 따라, 이를 위한 수소 튜브 트레일러 및 수소 컴프레서 등의 도입이 활성화될 전망이다. 특히 기존의 강철이나 알루미늄 등 금속제 라이너인 'Type1'에서 플라스틱 등 비금속제 라이너에 탄소섬유로 감는 방식인 'Type4'로 빠르게 시장이 전환할 전망이다 수소 충전소의 운영비와 투자비, 시가지 운행 제한 등 수소 인프라 확대에 새로운 계기를 마련할 것으로 보고 있다.

또 앞으로 육상 수소 운송에서 기체수소와 액화수소 중 액화수소가 운송량 및 저장 공간 활용 측면에서 유리한 입지를 차지할 것으로 업계는 평가하고 있다. 액화수소는 이미 부피가 800분의 1 수준

2022 INVESTOR DAY

Steppingstone towards Global H₂ Cooperation



KOREA H₂ BUSINESS SUMMIT



KOREA H₂ BUSINESS SUMMIT

2022 INVESTOR DAY

“제휴와 협력을 통해 시너지를 창출하고 중복 투자나 비효율을 사전에 방지해야 한다는 신념하에 코리아 H₂ 비즈니스 서밋(Korea H₂ Business Summit)이라는 국내 유일 민간 수소협의체가 탄생했다.”

이라 추가로 고압 압축을 할 필요가 없어 안전성 측면에서 큰 장점을 지닌다. 주민 수용성도 높아질 것이고, 운송에서 규모의 경제 달성, 충전소 부지면적에서 기체수소 대비 우월한 점이 있다. 게다가 기체수소의 1회 운송이 300kg 수준인 것에 비해 액화수소는 1회 3t가량인 것을 고려하면, 운송량과 운송 비용에서도 액화수소의 활용도가 더욱 높아질 전망이다.

산업별 수소 경쟁력 동향



수소차는 초기 충전 인프라 구축 및 운영에 큰 비용이 들어가고, 특히 국내는 핵심 설비의 낮은 국산화율로 부품 수급 및 가격 변동성에 취약하다. 현재 높은 초기 진입 비용으로 수익성이 낮아 충전소 사업자에게 부담으로 작용한다는 점이 수소 승용차 확산을 막는 주요 걸림돌로 지적되고 있다. 게다가 부정적 인식과 관련 규제가 충전소 구축에 장애물로 작용하고 있다. 이에 정부는 수소경제 활성화 로드맵을 통해 2040년까지 수소차 290만 대 보급 및 수소 충전소 1200기를 구축할 예정이다. 수소차 셀프 충전소 보급 등 그간 수소차 충전소를 둘러싼

다양한 규제 요인을 완화할 예정인 만큼 향후 수소 충전소가 확대 보급될 것으로 예상된다.

국내에서는 현대차그룹이 수소 전기차 넥쏘(NEXO)의 연료전지 시스템 기술력을 앞세워 전 세계 수소 상용차 시장을 선도하려는 전략을 구사하고 있다. 세계 최초로 수소 전기 트럭 양산 체제를 구축한 이후, 2020년 대형 수소 트럭인 엑시언트를 스위스에 첫 수출하기 시작했다. 한국 정부는 현대차와 협력해 2019년부터 경찰 버스, 2020년 시내버스에 이미 수소 전기차를 도입·운영하고 있으며, 2021년 세계의 최초 수소 청소 트럭을 실증 운행하고 있다. 수소 지게차는 2020년 시제품 개발에 성공해 현재 실증 사업을 추진 중일 정도로 전반적으로 국내 기술력은 이미 글로벌을 선도하고 있다.

육상 분야 외에도 해상 및 항공 분야에 수소 활용 기술 개발이 활발히 이뤄지고 있다. 특히 선박은 국제해사기구 환경규제인 IMO 2050 등 글로벌 규제에 따라 친환경 선박 전환을 가속화하고 있으며, 한국은 해양수산부 주관 민관 협동으로 수소 및 청정 암모니아 등 선박의 무탄소 연료전환을 위한 기술개발을 진행 중이다. 정부는 2027년 연안 선박, 2030년 대형 선박에 연료전지 시스템 적

용을 계획하고 있다. 현재 연안 선박에 국한해 2022년까지 연료전지 시스템 검증 완료, 2025년 실증 및 사업화 추진을 계획하고 있다. 하지만 독일 린데(Linde), 미국 혼블로어(Hornblower) 등 글로벌 선도사에서 실증을 이미 완료한 것에 비해 아직까지 국내에 실증 사례가 전무하다는 점에서 해외와 기술 격차가 있으며, 이를 조속히 해소해야 할 것이다. 항공기 분야는 두산 DMI, 하이리움 등에서 수소 드론을 실제 제품화해 출시했으며, 체공 시간 2시간, 비행거리 60km 수준으로 글로벌 선도 기술력을 자랑하고 있다. 유인항공기는 글로벌 선도사인 미국 보잉, 독일 H₂Fly에서 수소 항공기 연구개발을 주도하고 있다. 최근 들어 한국 현대자동차에서도 소형 항공기 개발을 추진하기 위해 폴스로이스 등 글로벌 항공 엔진업체들과 파트너십을 공고히 구축해 나가고 있다.



주요 철강 선도국을 위시해 우리나라도 수소환원제철(HyRex)을 중심으로 탄소 중립 추진을 도모하고 있다. 즉 단일 원제로 수소를 활용하고, 수소 생산 및 전기로(Electric Arc Furnace, EAF)에 사용하는 전기가 무탄소(Carbon-free,

탄소배출 제로)인 경우, 철강 생산과정에서 배출 제로(Zero-emission)의 달성이 가능하다. 100% 수소를 사용하는 H₂-DRI-EAF 기술은 수소 생산 전기 가격 하락과 탄소세 도입 부담 가중에 따라 2050년경에는 기존 철강 생산공정에 비해 경제성 우위를 점할 것으로 전망된다. 특히 포스코는 고로(BF) 기반의 철강 생산공정에 지속적으로 투자해 세계 최고 기술력을 보유하고 있다.

아르셀로미탈, SSAB 등 해외 철강업체들이 현재 천연가스를 환원제로 쓰는 샤프트 환원로에 일부 수소를 추가하는 방식의 수소환원제철 기술을 개발하고 있으나, 포스코는 기존 H₂-DRI 구현에 가장 근접한 유동 환원로 기반 고유 기술을 바탕으로 2030년까지 HyREX 개발을 목표로 하고 있다. 포스코의 HyREX 기술은 샤프트 환원로 방식보다 낮은 생산비용, 생산과정에서의 낮은 온실가스 배출 저감, 분철광석 수급의 용이성, 내부 고착화 문제가 적어 더 높은 수율 달성이 가능하다는 장점이 있어 향후 대세 기술로 도약할 것으로 전망된다.



한국은 2021년 749MW 누적 보급 용량을 달성한 연료전지 발전 세계 1위 국가이며, 세계 최대 용량의 연료전지발전소를 보유하고 있다. 특히 단일 사이트로는 세계 최대 80MW급 규모인 남부발전의 신인천빛드림 수소연료전지발전소는 수도권 25만 가구에 친환경 전력을, 청라 지역 4만4000가구에 온수를 공급하고

있다. 정부도 2040년까지 발전용 연료전지의 보급 목표를 8GW로 설정했으며, 전력 생산·판매업체에 수소연료전지 발전 의무를 부과하는 HPS(Hydrogen Energy Portfolio Standard) 제도 도입에 따라 수소 연료전지 수요 증가가 더욱 기대된다.

수소 터빈발전은 수소 혼소 기술과 수소 전소 기술, 암모니아·석탄, 암모니아·LNG 혼소 기술 개발을 추진 중이다. 정부는 암모니아 발전의 경우 20% 혼소 실증을 2027년까지 완료하고, 전체 석탄 발전 43기 중 절반 이상인 24기에 20% 혼소발전을 2030년까지 적용할 계획이다. 또 수소발전의 경우 30% 이상 혼소 상용화를 2035년까지, 30~100% 혼소 및 전소를 2040년까지 적용할 계획이다. 이에 따라 수소 터빈발전은 한국의 단·중기 수소 및 암모니아 최대 수요를 차지할 것으로 전망된다. 대용량 발전용 수소 가스터빈 개발은 기존 글로벌

가스터빈업체인 미국 GE, 독일 지멘스, 일본 MHPS(미쓰비시와 히타치 합작사)라는 빅 3가 주도 중이며, 2025년 수소 혼소율을 50% 수준까지 달성할 수 있을 것으로 예상하고 있다. 우리나라는 한화 임팩트가 2021년 네덜란드 토마센에너지와 미국 PSM의 지분 100%를 인수해 수소 혼소발전 터빈 관련 핵심기술을 확보, 국내 10개 기관과 함께 F급 가스터빈에 수소 혼소율을 최대 70% 적용해 탄소배출량을 최대 39% 저감하는 실증 사업을 추진하고 있다. 또 두산에너지빌리티는 세계에서 다섯 번째로 발전용 대형 가스터빈 개발에 성공한 기술력을 바탕으로 수소 혼소발전뿐 아니라 수소 전소발전용 가스터빈 개발을 추진하고 있다.

기업 간 수소 협력 필요성

현재 산업별로 기술 수준이 다른 국내 수소 산업 경쟁력을 강화하려면 전체 수소 가치사슬 내 기업 간 긴밀한 협의 및



공조, 공동의 이익과 투자 조율 등으로 거대 프로젝트를 흔들림 없이 탄력적으로 이끌어갈 기업 중심의 협력 주체가 반드시 필요하다. 이러한 제휴와 협력을 통해 시너지를 창출하고 중복 투자나 비효율을 사전에 방지해야 한다는 신념하에 코리아 H₂ 비즈니스 서밋(Korea H₂ Business Summit)이라는 국내 유일의 민간 수소협의체가 탄생했다. 국내 수소경제를 선도하는 현대차·SK·포스코그룹 주도로 출범해 딜로이트 컨설팅 코리아가 사무국으로 선정된 코리아 H₂ 비즈니스 서밋에는 17개 회원사 간 수소 사업 협력 추진, 수소 관련 투자 촉진을 위한 글로벌 투자자 초청 인베스터 데이 개최, 해외 수소 기술 및 파트너 공동 발굴 등으로 수소경제 확산과 수소 산업 경쟁력 강화의 핵심 역할을 수행하고 있다.

코리아 H₂ 비즈니스 서밋은 국내 수소산업의 생태계 여건 및 우리 기업경쟁력을 동시에 개선하려는 목적으로 수소펀드를 설립했다. 수소펀드는 성장성과 불확실성이 공존하는 현재 수소 사업 추진을 위한 최적의 접근 방안 중 하나이며, 투자 위험 부담 최소화화 및 시장 기회 확보에 효과적이다. 수소펀드는 국내 수소 인프라 조성을 위한 마중물 재원이자 기술력 제고를 위한 투자 재원으로 활용할 수 있다. 또 해외 수소 인프라가 발전하는 상황에서 우리 기업의 경쟁력을 제고하는 데 투자될 수 있다. 더 나아가 수소펀드는 우리 기업이 공통적으로 부족한 핵심기술을 조기 확보해 수소 기술 경쟁력을 빠르게 개선할 수 있는 수단이다.

유망 수소 기술에 조기 투자하고, 혁신도 높은 프린티어형 수소 기술에 대한 탐색을 지속할 수 있다.

정부에 대한 전략적 제언

먼저 수소경제 전환을 대한민국의 30년 뒤 미래 모습을 만드는 국가전략으로 인식해야 한다. 수소경제 전환은 비단 한국의 에너지 믹스뿐 아니라, 산업구조, 운송 시스템 등 경제 전반, 그리고 외교 통상, 경제 및 재정, 산업정책, 과학기술 정책 전반의 변화를 요하는 과제다. 따라서 기업의 기술적, 사업적 준비 수준과 수소경제 전환 속도에 대한 기업과 정부 간 긴밀한 조율이 필요하다. 또 수소경제 전환은 탈탄소 달성 목표 시점인 2050년까지 일관성을 유지하고 추진해야 할 과제다. 정부와 각급 기관장의 임기와 관계없이 지속적인 추진이 이루어져야 하며, 이를 통해 시장 참여자들의 불확실성이 확실히 제거될 수 있도록 만들어줘야 한다.

마지막으로 탈탄소 수소경제를 선도하는 국가들은 이미 대규모 생태계 조성, C-Tech 기술 선도를 위한 적극적 지원, 탄소 관련 무역장벽의 전략적 구축, 기술 표준 및 품질 표준 선점을 통해 유리한 경쟁 여건 조성을 적극적으로 추진하고 있다. 우리 정부도 대규모 수소 수요 창출을 통한 신속한 생태계 조성확대에 초점을 둔 정책 지원과 기술 우위 확보를 위한 투자와 지원 확대, 안정적 해외 수소 도입 가치사슬 구축을 위한 적극적 협력 구도와 체계 마련에 힘써주길 기대한다.



클린 모빌리티 기술혁신, 수소전기차 현대차 '엑시언트 수소전기트럭(XCIENT Fuel Cell)'

수소전기차(FCEV)는 차량에 저장한 고압 수소와 대기 중 공기가 만나 생성된 전기에너지로 움직이는 무공해 자동차다. 즉 수소를 에너지원으로 활용해 연료전지시스템으로 전기를 생산해 움직인다. 전기를 만드는 과정에서 순수한 물(H₂O)만 배출할 뿐 아니라, 운행 중 대기에 있는 초미세먼지를 제거하는 기능이 있어 미래 친환경 모빌리티로 주목받고 있다.

XCIENT Fuel Cell

수소전기차를 움직인다. 주행 중인 수소전기차는 배기구통을 통해 순수한 물만 배출한다.

이러한 수소전기차의 심장에 해당하는 게 연료전지시스템이다. 연료전지시스템은 내연기관 자동차의 엔진과 같은 역할을 한다. 구동에 필요한 전기를 만들어내는 장치로, '3차 전지'라고도 부른다. 연료전지는 산소와 수소의 전화학 반응을 이용해 열에너지를 전기에너지로 변환한다. 이때 발생한 전기에너지는 순수한 화학 반응의 결과물로 화석연료와 달리 이산화탄소 같은 배출가스를 발생하지 않는다. 연료전지시스템은 연료나 재질에 따라 고분자 전해질 연료전지(PEMFC), 고체 산화물 연료전지(SOFC), 용융 탄산염 연료전지(MCFC) 등 다양한 종류가 존재한다. 기본 구성은 연료전지 스택, 수소공급시스템, 공기공급시스템 그리고 열관리시스템으로 나뉜다.

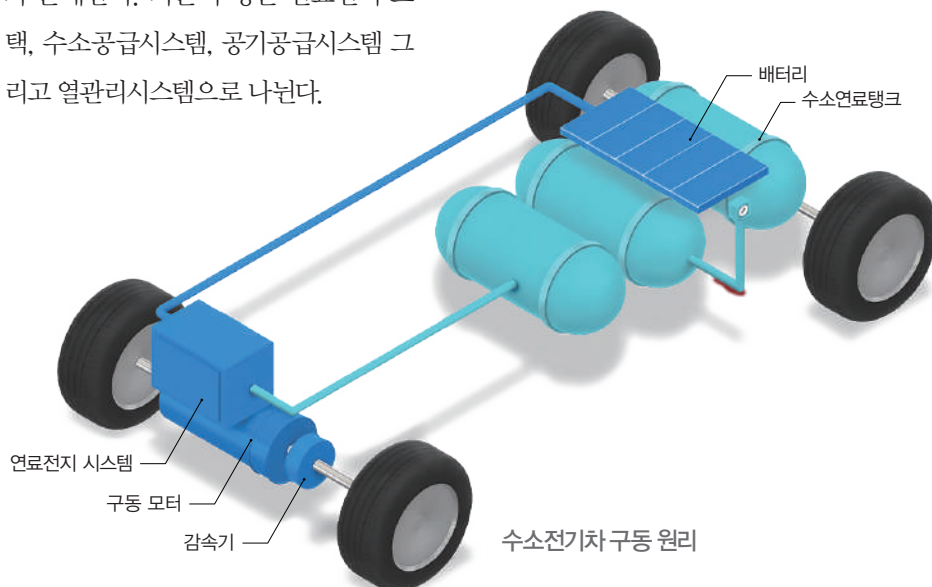
다음으로 수소전기차에 빼놓을 수 없는 핵심기술이 에너지 저장장치인 수소연료탱크다. 에너지 공급원인 고압 수소를 저장하는 장치 역시 중요하다. 수소는 부피당 밀도가 낮아 보관하려면 매우 큰 공간이 필요한데, 좁은 공간에 더 많은 수소를 보관하기 위해선 700bar(약 690기압) 수준의 고압으로 압축해야 한다. 이 고압 수소를 안전하게 보관하는 부품이 바로 수소연료탱크다.

마지막으로 간과할 수 없는 핵심기술이 전기에너지를 운동에너지로 전환하는 에너지 변환장치인 구동 모터다. 구동모터는 스택과 배터리에서 공급받은 전기에너지로 구동력을 발생시킨다. 수소전기차는 전기차처럼 감속 시 운동에너지를 다시 전기에너지로 환원하는 회생제동시스템도 갖추고 있다. 회생제동시스템은 속도를 줄일 때 회수한 전기에너지를 고전압 배터리에 저장하는 역할을 하며, 이는 모터 작동에 다시 활용돼 연비 개선에 도움을 준다.

엑시언트 수소전기트럭 6x4 윙 바디.

수소전기차 핵심 기술 세가지

수소전기차는 수소연료탱크에 안전하게 보관된 고압 수소와 공기공급시스템을 통해 들어온 산소를 연료전지 스택에 전달, 전기화학반응을 일으켜 전기에너지를 생산한다. 생산된 전기에너지는 구동 모터를 통해 운동에너지로 전환되어



세계 최초 양산

엑시언트 수소전기 대형 트럭

'XCIENT Fuel Cell'

현대자동차그룹은 세계 최초로 수소전기 대형 트럭 양산 체제를 구축했다. 2020년 생산을 시작한 '엑시언트 수소전기트럭(XCIENT Fuel Cell)'은 스위스 수출로 이어져 유럽의 상용 수소전기차 생태계에 중요한 역할을 담당하고 있다. 현대자동차그룹은 수소전기차 개발에만 그치지 않고 스위스 내 수소 솔루션 기업, 발전소, 수소충전소 사업자, 리테일 물류 체인 및 기타 물류 기업들과 함께 유럽의 상용 수소전기차 생태계 구축에 참여하고 있다.

이러한 수소전기트럭이 본격적으로 우리나라 도로를 달린다. 현대차는 지난 2022년 12월에 엑시언트 수소전기트럭의 국내 판매를 시작한다고 밝힌 바 있다. 엑시언트 수소전기트럭은 현대차가 세계 최초로 양산한 대형 수소전기트럭으로, 스위스·독일 등 세계 주요 시장에 잇따라 공급하며 친환경성과 우수한 기술력을 인정받고 있다.

국내에서는 지난 2020년 5월 국토부와 수소전기화물차 보급 시범사업을 위한 상호 협력 강화를 주요 내용으로 하는 양해각서(MOU)를 체결하고 지난 2021년 12월부터 수도권 및 영남 지역에서 시범 사업을 진행했다. 현대차는 시범 사업을 통해 국내 도로에서의 적합성 검증을 마치고 당초 2023년으로 계획했던 국내 판매 일정을 2022년 12월로 앞당겼다. 친환경 물류 미래를 선도할 수소전기



연료전지시스템

- ① 연료전지 스택
- ② 수소공급시스템
- ③ 공기공급시스템
- ④ 열관리시스템

트럭의 강점은 연료전지시스템 무게가 전기트럭의 배터리보다 가벼워 더 긴 주행거리를 확보할 수 있고, 무엇보다도 짧은 시간 내에 안전하게 100% 충전이 가능하다는 것이다. 이에 따라 장거리를 운행하는 대형 상용차에 적합하다는 의견이 지배적이다.

엑시언트 수소전기트럭은 350kW 고효율 모터와 180kW 연료전지 스택(90kW 연료전지 스택 2기, 스택 컴플리트 출력 기준), 72kWh 고전압 배터리가 적용됐다. 한 번 수소를 충전하면 약 570km를 주행할 수 있다. 이를 기반으로 H430 엔진을 탑재한 동급의 엑시언트 디젤보다 우수한 최대 476마력의 출력과 최대토크 2237Nm을 확보했다. 수소 연료전지시스템 적용뿐만 아니라 차량 주요 부위 최적화로 실내 소음과 진동을 줄여 정숙한 주행 환경도 갖췄다. 또 측면 충돌과 롤오버



엑시언트 수소전기트럭 청소차.

감지 시 전류와 연료를 차단해 2차 사고를 방지해주는 ‘충돌 안전 시스템’, 내리막길에서 보조 제동장치(Retarder)를 자동으로 작동시켜 속도를 줄여주는 ‘다운힐 크루즈’, 디스크 브레이크, 타이어 공기압 경고 등을 적용해 안전성을 높였다. 국내에서 4×2·6×4 특장용 샤프캡과 6X4 윈 바디 모델을 출시했다. 2022년 12월에 현대차는 한국자동차연구원과 서울시, 창원시, 충주시, 전북 부안군과 엑시언트 수소전기트럭 청소차 전달식을 가졌다. 각 지자체에 전달된 총 4대의 엑시언트 수소전기트럭 청소차는 2022년 12월부터 약 1년 동안 시범 운영된다. 한편, 현대차는 엑시언트 수소전기트럭의 이스라엘 진출을 시작으로 중동 수소전기트럭 시장 확대에도 나선다. 현대차는 이스라엘 판매 대리점 콜모빌(Colmobil), 수소 생산업체 바잔

(Bazan), 수소충전소 운영업체 소놀(Sonol)에 엑시언트 수소전기트럭을 각 1대씩 총 3대 공급하기로 했다고 지난 2022년 12월에 밝혔다.

이들 기업에 전달한 차량은 4x2 엑시언트 수소전기트럭으로, 180kW급 수소 연료전지시스템이 장착됐으며, 한 번 충전으로 400km 이상 주행이 가능하다. 이 중 콜모빌에 공급되는 엑시언트 수소전기트럭은 2023년 1분기부터 자동차 부품 운송 업무에 본격적으로 투입돼 중동 지역에서 상업적으로 운행되는 최초의 수소전기트럭으로 기록될 전망이다.

콜모빌, 바잔, 소놀은 이스라엘 정부의 강한 탄소중립 의지에 발맞춰 지난 2021년에 수소 가치사슬 구축을 위한 업무협약을 상호 체결했으며, 이 일환으로 2022년에 엑시언트 수소전기트럭 도입을 결정했다. 앞서 지난 2021년, 이스라엘은 2015년 대비 국가 온실가스 감축 목표치(NDC)를 2030년 27%, 2050년 85%로 발표한 바 있다. 2030년 인구당 온실가스 배출량을 2005년 수준 대비 26% 줄인다는 기존안보다 장기적이고 야심 찬 목표를 설정한 것이다. 현대차도 이런 움직임에 동참하기 위해 이스라엘을 중심으로 중동 지역 내 엑시언트 수소전기

트럭 공급을 확대할 계획이다.

현대차 상용혁신사업부장 마크 프레이물러(Mark Freymueller) 전무는 “이스라엘 주요 기업들과의 긴밀한 협력으로 현지 수소 인프라 초기 구축에 참여하게 된 것은 글로벌 수소 가치사슬 형성을 위해 노력하고 있는 현대차에도 중요한 이정표”라며 “엑시언트 수소전기트럭이 이스라엘의 에너지 전환 가속화에 실질적인 기여를 할 수 있을 것이라고 확신한다”고 말했다.

엑시언트 수소전기트럭은 현대차가 세계 최초로 양산한 대형 수소전기트럭으로 현재 한국, 스위스, 독일, 뉴질랜드에서 운행되고 있다. 특히 스위스에 도입된 47대의 경우 2020년 10월부터 2022년 10월까지 누적 주행거리 500만km를 달성하며 신뢰성과 친환경성을 입증한 바 있다. 이 외에도 ‘캘리포니아 항만 친환경 트럭 도입 프로젝트(NorCAL ZERO)’ 및 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)이 주관하는 캘리포니아 대기질 개선 프로그램 ‘2021년 TAG (Targeted Airshed Grants)’를 통해 캘리포니아주에 공급된 총 35대의 엑시언트 수소전기트럭이 2023년 3분기 상업운행을 앞두고 있다.



사진 및 자료 출처: 현대자동차그룹 HMG 저널

대한민국 수소 생태계 구축 위한 가교 역할 톡톡히 해내다

화석연료인 석유가 고갈되면서 수소가 주요 연료가 되는 미래 수소경제 시대가 예상보다 빠르게 다가올 것으로 전망된다. 국내 수소경제 민간 협의체 ‘수소융합얼라이언스(H2KOREA)’의 행보도 주목되고 있는데, 수소경제 전도사로 불리는 문재도 H2KOREA 회장을 만나 이야기를 나누었다.

✍ 조범진 📷 서범세

문재도
H2KOREA 회장



Q 수소융합얼라이언스(H2KOREA)의 설립 배경과 목적, 시기는?

H2KOREA는 2017년 ‘수소경제 사회로의 조기 이행’을 목적으로 수소 관련 기업과 기관이 중심이 돼 만들어졌다. 정부의 수소경제 확대 정책과 기후변화 대응에 수소에너지의 역할이 중요해지면서 매년 회원사가 증가해 현재는 총 141개 기업과 기관이 참여하고 있다.

H2KOREA는 최근 에너지 안보 강화, 탄소중립 실현 등 급변하는 글로벌 에너지·환경 시장에서 수소경제로의 전환을 촉진하고, 대한민국의 위상과 국내 산업 진흥을 위해 정책 지원, 산업 지원, 글로벌 협력 구축, 정부와 산업계 간 소통 채널 강화에 노력하고 있다.

H2KOREA는 지난해 11월 2일을 ‘수소의 날’로 정례화하는 데 앞장섰고, 글로벌 수소경제 활성화를 위해 민간 중심으로

문재도 회장

- 서울대 경제학과 졸업
- 행정고시 25회
- 산업통상자원부 제2차관
- 한국무역보험공사 사장
- 2019년 수소융합얼라이언스 회장 취임

20개국 수소 관련 협회 및 단체가 참여한 세계수소산업연합회(GHIAA)를 발족해 초대 의장사로 활동하고 있다.

Q H2KOREA의 주요 사업 중 대표적인 것은 무엇인가?

첫째는 '국제 협력 지원'이다. 이를 위해 H2KOREA는 그동안 국제 수소연료전지파트너십(IPHE) 등 국제기구와의 교류는 물론 미국, 유럽연합(EU), 영국, 독일, 덴마크, 노르웨이, 사우디아라비아, 아랍에미리트연합(UAE) 등 세계 각국 정부 및 산업계와 수소 협력 관계 구축에 나서는 등 기회의 장을 마련했다. 지난해까지 총 16개국 19개 기관과 수소 분야 국제 협력 강화를 위해 업무협약(MOU)을 체결하는 등 협력 네트워크를 형성해나가고 있다. 특히 국제 간 수소교역을 위한 청정수소인증제도 마련, 수출 확대를 위한 수소 활용(모빌리티·연료전지 등) 분야 공동 프로젝트 등을 발굴 및 추진하고 있다.

둘째는 '수소 전문 기업 육성'이다. 정부는 국내 수소 산업 생태계를 활성화하기 위해 2020년 제1차 수소경제위원회에서 수소 전문 기업 육성 전략을 처음 발표한 데 이어 지난해 11월 제5차 수소경제위원회에서 2030년까지 총 600개의 수소 전문 기업을 육성하겠다는 계획을 밝혔다. 이에 H2KOREA는 민간투자 지원 관리 체계를 구축하고, 수소 전문 기업 육성 지원에 집중하고자 2021년 수소법 제3항에 근거해 H2KOREA 내 수소 혁신 데스크를 설치하는 한편 수소 전문 기업 기술·경영지원단을 출범하는 등



지원체계를 구축했다. 2023년 1월 기준 수소 전문 기업은 57개사로, 올해 안에 총 95개를 지정할 계획이다. 또 수소 사업을 직간접으로 영위하는 기업이 수소 전문 기업으로 성장할 수 있도록 지난해부터 추진 중인 예비수소전문기업제도도 확대할 방침이다.

셋째는 '수소 셀프 충전소 구축 등 인프라 고도화'다. H2KOREA는 현재 수소 충전소 관련 인프라 확대와 산업 발전을 위해 수소 셀프 충전 시스템 개발 및 실증, 고장 예지 안전관리 시스템 개발, 수소충전소 핵심 부품 국산화 기술 개발 총괄 등 정부의 수소충전소 정책 지원 및 연구개발(R&D)을 수행하고 있다. 특히 그동안 수소충전소 운영 개선, 수소차 보급 확대 및 운전자 편의 제공과 관련한 애로 사항을 해결하기 위해 수행한 수소 셀프 충전 과제는 H2KOREA가 총괄 주관기관으로 나서 한국형 셀프 충전

시스템 개발 및 체계를 구축했다.

마지막으로는 '수소 충전 핵심 소재 부품 국산화'다. 수소충전소 가동률 상승에 따른 수소충전소 주요 부품 고장을 비롯해 심각한 외국인 의존도, 코로나19 등 환경 변화로 유지보수 취약 등 문제가 지속적으로 대두되자 주요 부품 국산화 목소리가 높아지고 있다. 이에 H2KOREA는 수소충전소의 핵심 부품 국산화 및 기술 표준화를 목표로 '수소충전소 핵심 부품 신뢰성 제고를 위한 성능 고도화 실증 기술 개발' 과제를 주관해 수행하고 있다.

Q 국내 수소 산업 발전을 위한 전략 과대책은 무엇인가?

국내 수소 산업이 발전하기 위해서는 국제 에너지 시장의 변화에 주목해야 한다. 최근 사우디아라비아, UAE 등 주요 산유국은 국책사업에 수소에너지를 포함하는 등 포스트 오일 시대를 대비하고 있다.



미국과 EU, 호주, 칠레 등에서는 청정 수소 생산과 사용 목표, 수출과 관련한 실증 사업 등을 추진하고 있다. 이러한 흐름은 기후변화 대응을 위해 탄소중립을 실현하려면 수소가 핵심 역할을 해야 하는데, 이는 국제사회의 합의가 바탕이 된 것이다.

다만, 전 세계적으로 수소경제는 걸음마 단계인 만큼 정부가 중심이 돼 생태계 전반이 균형 있게 성장할 수요개발과 기술 개발 등을 추진해야 한다. 특히 우리나라의 수소 관련 기술력은 활용면에서 세계 1위를 자랑하는 반면, 생산·저장·운송 등 기타 분야는 선진국과의 기술 격차가 3~7년이나 벌어진 상황이다. 현재 수소 전주기 핵심 기반 기술 확보가 필요한 시점이다. 정부는 생산과 저장·운송, 활용 전 분야에 걸쳐 기술개발을 집중 지원

함으로써 선진국 대비 75% 정도인 기술 수준을 2030년 대등한 수준으로 끌어 올려 핵심 기반 기술의 자립을 도모할 계획이다. 또한 수소법에서 정한 수소발전 시장입찰제도와 청정수소인증제도가 올해 시행되면 국내외 기업이 실질적인 투자 결정을 할 중요한 시기가 될 것이다.

Q 앞으로 계획 및 목표는?

H2KOREA는 대한민국이 수소경제 사회로 조기 전환할 수 있도록 수소경제 진흥을 위한 정책 개발과 산업 발전을 위해 노력할 방침이다. 우리나라가 수소경제 전주기 생태계 구축으로 청정 수소경제를 선도할 수 있도록 전문성을 강화하고 △정책 지원 △기업 육성 △글로벌 협력 △국민 수용성 등 정부 정책을 밀착 지원하며, 국회·전담 기관·유관 기관·

산학연 간 협력을 강화해나갈 계획이다. 이를 위해 특별히 정책 역량 강화를 통해 지난해 말부터 이어지고 있는 정상 간, 정부 부처 간 외교 시 정부와 산업계를 도와 '수소 외교'를 본격화할 수 있도록 지원할 것이다.

또 수소 산업 성장을 위한 수소법 개정, 수소사업법 제정 등 법적 제도의 지원을 강화하고, 수소경제와 관련된 신뢰성 있는 데이터베이스 구축 등을 위해 수소정보포털 고도화를 추진하는 한편, 국내외 수소 산업 관련 보고서 및 자료 등 정보 공유를 확대하고자 한다. 이후 청정 수소 공급 체계로 전환함으로써 효율적인 저장·운송 수단 확보, 수소 활용처 다변화, 수소 산업 육성을 통한 수소경제 강국으로 도약할 수 있도록 최선을 다할 것이다.

글로벌 기술강국으로의 도약 “국제 기술 협력을 지원합니다”

산업통상자원부 해외기술협력거점



KEIT 미국(실리콘밸리) 거점

담당자 박성환
E-mail parkorea@keit.re.kr
Tel (Office) +1-408-232-5411



KEIT 독일(베를린) 거점

담당자 박효준
E-mail biojun@keit.re.kr
Tel (Office) +49-30-8891-7390



KORIL 이스라엘 거점

담당자 최정민
E-mail ena@koril.org
Tel 02-6009-8253,
(텔아비브Office) +972-54-345-1013



KIAT 미국(워싱턴D.C) 거점

담당자 김은정
E-mail ejkim@kiat.or.kr
Tel : (Office) +1-703-337-0950



KIAT 벨기에(브뤼셀) 거점

담당자 강주석
E-mail kangjs@kiat.or.kr
Tel (Office) +32- (0)2-431-0591



KIAT베트남(하노이) 거점

담당자 이재민
E-mail jmlee@kiat.or.kr
Tel (Office) +84-24-7308-2020

수소 도시 조성 사업으로 지역 경제 활력

수소 도시 조성 사업은 지난 1월 윤석열 대통령의 UAE 국민 방문 시 양국 간 '도시 내 수소 생산·유통·저장·활용에 관한 양해각서'를 체결해 해외시장 개척이 기대되는 등 최근 수소경제 활성화 측면에서 주목받고 있는 사업이다.

수소 도시 조성 사업 설명회 개최

2024년 신규 수소 도시 조성 사업을 위해 전국 지자체를 대상으로 '수소 도시 조성 사업 설명회'가 열렸다. 국토교통부가 개최한 이번 설명회는 지난 2월 15일 세종특별자치시에 위치한 정부세종청사 국토교통부 4층 대회의실에서 진행됐다.

최근 수소경제 활성화와 관련해 주목받고 있는 수소 도시 조성 사업은 수소 에너지원이 공동주택, 건축물, 교통시설 등에 활용될 수 있도록 수소 생산 시설, 이송 시설(파이프라인, 튜브 트레일러 등), 활용 시설(연료전지 등) 등의 도시 기반 시설을 구축하는 내용을 담고 있다. 이를 통해 온실가스 감축 등 탄소중립 실현에 기여할 뿐 아니라, 연료전지를 포함한 수소 관련 산업 활성화까지 장려할 수 있다. 더불어 일자리 창출 등을 통한 지역 경제 활성화에도 기여할 것으로 기대된다.

2019년 세 곳에 이어 2023년 여섯 곳 추가 선정

국토교통부는 지난 2019년 세계 최초로 수소 시범 도시 3곳(울산, 안산, 전주·완주)을 선정한 바 있으며, 올해 수소 시범 도시가 순차적으로 준공되면서 본격적인 성과를 낼 것으로 보고 있다.

2024년 신규 수소 도시 조성 사업은 2019년 선정한 수소 시범 도시(일반회계, 공모로 선정)와 달리 지자체에서 사업 신청을 하면 중앙부처의 검토를 거쳐 정부안이 확정되는 국가균형발전특별회계 시·도자율 편성사업으로, 국가균형발전특별회계 예산 편성 일정에 따라 진행된다. 각 지자체에서 사업계획을 수립해 예산 신청(~4월)을 하면 국토교통부의 사업 적정성 등 검토를 거쳐 기획재정부에서 예산심의 후 정부안 반영 여부가 결정(~8월)되며 국회 심의를 거쳐 연말에 확정된다.

2019년 선정한 수소 시범 도시(3개소)를 포함해 2024

올해 준공 예정인 수소 도시 사업(예시)



울산 울동공공주택 수소연료전지
(2023년 6월 준공 예정)



울산 수소 파이프라인
(2023년 8월 준공 예정)



전주·완주 수소 공급기지
(2023년 6월 준공 예정)

년 신규 수소 도시 조성 사업을 위해 총 400억 원(국비 200억 원, 지방비 200억 원)을 투자한다. 올해부터는 여섯 곳(평택, 남양주, 당진, 보령, 광양, 포항)의 지자체에서 신규 수소 도시 사업에 착수하며, 내년부터는 본격적인 조성을 시작할 계획이다.

새로운 지역 성장 동력으로 활용

이번 설명회에서는 수소 도시 개념, 수소 도시 인프라 구축 사업 내역, 지원 규모 및 기간, 향후 사업 추진 일정 등도 소개했다. 수소 도시 조성 사업은 보통 주거·교통 분야로 나뉜다. 주거 분야는 공동주택(공공청사 등) 등에 수소에너지 보급을 위한 도시 기반 시설을 설치하는 사업이고, 교통 분야는 수소차, 수소 버스 등 수소 모빌리티를 지원하기 위한 도시 인프라를

설치하는 사업이다.

특히 올해 추진하는 수소 도시 사업은 바이오매스 기반 그린수소 생산 시설과 연계한 도시 기반 시설 설치 등 지역의 여건을 기반으로 참신한 아이디어와 접목했다. 지자체별 여건에 따라 수소 도시 인프라 중 필요에 따라 소규모(총사업비 100억 원 또는 200억 원 등) 사업으로도 추진할 수 있도록 사업 유형을 다양화했다.

이날 설명회에 참석한 국토교통부 김기훈 도시활력지원과장은 “수소 도시 조성을 통해 기후 위기에 대비하기 위한 탄소중립 실현에 기여할 뿐 아니라, 새로운 지역 성장 동력으로 활용해 지역 수소 산업 육성과 일자리 창출 등을 기대할 수 있는 만큼 각 지자체에서 적극적인 관심을 가져주길 바란다”고 강조했다.

2023년 신규(여섯 곳) 수소 도시 조성 사업 개요 및 특징

도시	입지·특징	수소 인프라	특화 요소
평택	블루수소 생산 등을 위한 수소 특화 단지 입지	<ul style="list-style-type: none"> •경제 자유구역 공동주택 연료전지 •수소 모빌리티 특구 연계 •수소 배관 15km 구축 •통합안전운영센터 구축 	수소 도시 기술지원센터 스마트팜 테마파크
남양주	3기 신도시 내 수소 도시 모델 구축	<ul style="list-style-type: none"> •공공주택, 공공청사 연료전지 •수소 충전소 구축, 수소 청소차 도입 •수소 배관 5km 구축 •통합안전운영센터 구축 	도심형 바이오매스 기반 그린수소 생산기지 건설
당진	국내 최대 석탄화력발전 단지 등을 통한 수소 생산 여건 양호	<ul style="list-style-type: none"> •공동주택, 기숙사 연료전지 •수소 청소차, 수소 트럭 도입 •수소 배관 7.5km 구축 •통합안전운영센터 구축 	유기성 폐자원 그린수소 생산 실증 수소에너지 홍보관
보령	세계 최대 그린&블루수소 생산기지 연계	<ul style="list-style-type: none"> •실버타운, 기숙사 연료전지 •버스차고지 수소 충전소, 수소 버스, 수소 트레일러 도입 •수소 배관 8km 구축 •통합안전운영센터 구축 	냉열 특화산업 단지 내 수소연료 설치 유기성 폐자원 활용 그린수소 생산 실증
광양	광양·여수 수소항만 구축 사업 추진	<ul style="list-style-type: none"> •공공주택, 수영장 연료전지 •수소 충전소, 수소 청소차 도입 •수소 배관 19km 구축 •통합안전운영센터 구축 	광양항 내 수소 모빌리티 실증 사업
포항	제철소 부생수소 공급 여건 우수	<ul style="list-style-type: none"> •공공주택, 공공건물 연료전지 •수소 충전소 구축, 수소 버스 도입 •수소 배관 15.4km 구축 •통합안전운영센터 구축 	수소 연료전지 개발 및 수전해수소 생산 실증



차세대 반도체 배선 물질을 찾아라!

4차 산업혁명 시대의 지하자원이나 다름없는 반도체.
그러나 다른 자원과 달리 반도체는 인간의 기술개발을 통해 그 성능을 발전시킬 수 있기에 더욱 매력적이다. 반도체에도 배선이 들어간다. 기존 구리보다 물성이 더 뛰어난 차세대 반도체 배선 물질 탐색에 기여해 2022년 원익상 연구 분야 우수상을 수상한 연구자를 만나보자.

이동훈 이승재

훌륭한 과학기술은 마법과 같다고 했던가. 지금 이 순간에도 많은 소년·소녀가 뛰어난 첨단기술을 보며 과학기술자의 꿈을 키우고 있다. 현재 고려대학교 신소재공학과 석·박사 통합 과정에 재학 중인 문준환 씨도 별반 다르지 않았다. 세상을 바꾸는 과학기술에 대한 경이로움이 그를 연구자의 길로 이끌었다.

4차 산업혁명 시대에 접어들어 기계에 인공지능이 탑재되면서 고성능 정보처리·수집·연산을 위해 초고성능 및 초저전력 반도체 기술을 요구하고 있다. 또 반도체를 탑재하는 전자 기기가 늘면서 그 수요도 크게 확대되고 있다. 그러나 반도체소자는 더 이상 무어의 법칙(고밀도집적회로의 트랜지스터 수가 2년마다

2배씩 증가한다는 경험칙)에 따라 소자의 집적도를 향상시킬 수 없다. 물리적 한계에 직면했기 때문이다. 문준환 씨가 속한 정보소자재료 연구실은 반도체 스케일링이 직면한 여러 문제 중 금속배선 문제를 해결하기 위해 2017년 9월부터 삼성전자 미래기술육성사업의 지원을 받아 코발트 금속배선 콘택트 소재에 관한 연구를 진행했다. 문준환 씨가 이곳의 학부 연구생으로 지원한 것은 2017년 10월이다. 그는 향후 배선 소재로 각광받는 다른 여러 금속에 대해 알게 되었고, 해당 금속을 현재 반도체 배선 공정에 적용하기 위해서는 적절한 공정법 개발이 가장 큰 과제임을 알게 되었다. 이에 전기화학 및 재료과학을 공부하며 기존에 전기도금이 어려웠던 루테튬 계열 금속을 나노스케일에서 구현하고자 했다.

차세대 반도체 배선 소재로서 루테튬의 가능성 탐구

반도체 8대 주요 공정 중 하나인 금속배선에서는 실리콘 웨이퍼상에 형성된 반도체소자를 연결하는 배선을 만든다. 반도체칩의 크기는 손톱만 하지만, 배선 길이는 수십km에 달한다. 이 배선은 전자가 흐르는 통로로 정보를 전달한다. 그러나 최근 반도체칩의 계속된 집적화로 인해 배선의 선포이 수 나노미터(nm)까지 줄어들면서 소자의 성능은 트랜지스터 처리 속도보다는 전기저항의 크기에 더 좌우되고 있다.

전기저항이 커지면 소자의 전력 소비를 증가시키고 속도를 지연시켜 집적회로 장치 성능에 제약이 따른다. 게다가 감소된 배선 면적 내부에서 발생하는 증가된 전자산란은 배선의 전류밀도 및 온도를 증가시킨다. 이는 금속 배선 원자의 확산을 촉진해 금속배선을 감싼

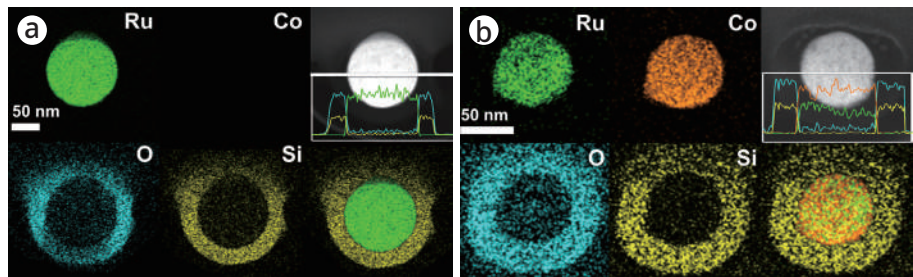
← 문준환

경기고등학교 졸업
고려대학교 신소재공학부 졸업
현재 동 대학원 정보소자재료연구실에서 석·박사 통합 과정 졸업 예정
전기화학과 나노 분야 지식을 바탕으로 반도체 금속배선, 나노코일 등 특이형상 나노물질 특징과 응용 분야 연구 중

저유전체로의 금속 원자를 확산하거나 금속배선 내부의 공극 형성 원인이 되어 의도하지 않은 전기적 연결을 만들으로써 회로의 오작동을 일으켜 장비의 신뢰성을 급격하게 감소시킨다. 현재 배선 증착 방식은 전기도금 방식을 이용한 이중 다마신(Dual-damascene) 공정이다. 미리 만들어놓은 트렌치 형태의 틀 속에 금속을 채워 넣는 방식이다. 배선 구조는 중심의 도체 외에도 도체의 저유전체로의 확산을 방지하기 위한 배리어와 구리(현재 배선의 주 재료)를 전기도금하기 위한 라이너를 포함하는 다층 구조다. 배선의 선포이 감소하면 배리어와 라이너의 선포이 또한 감소해 비저항 증가를 야기하며, 라이너와 도체 사이의 불균일한 도금으로 인해 내부 결함이 발생해 전체 소자의 효율을 떨어뜨리는 문제에 직면했다.

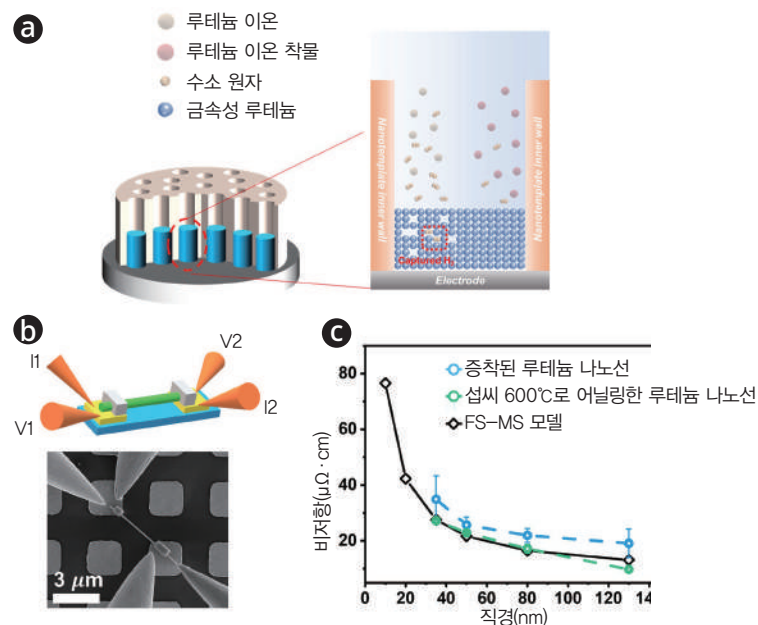
루테튬은 구리에 비해 비저항 크기 효과가 작고, 원자 간 응집력이 높아 전기 이동과 배선을 감싼 저유전체막으로 확산되는 경향이 낮아 차세대 배선 소재 중 하나로 주목받고 있다. 다만 수용액에서 전기도금 시 경쟁 반응인 수소 발생 반응으로 인해 저지름에서 금속 루테튬으로 환원하기 어려운 문제점이 있다. 때문에 기존에는 물리적 증착법(PVD)이나 원자층 증착법(ALD)을 이용한 박막 특성 위주의 연구가 진행되었다. 2차원 박막은 1차원 형태의 실제 배선구조와 구조적으로 다르기에 다른 물리적 현상이 관측되며, 전기도금 방식이 아닌 새로운 증착법은 새로운 공정 설비를 구축해야 하므로 업계에 부담이 된다.

이에 문준환 씨의 연구팀은 다공성 나노 멤브레인을 이용해 다양한 지름의 루테튬 나노선과 여러 조성의 루테튬-코발트 합금 나노선을 현재 반도체 배선 공정에서 사용되는 전기도금 방식으로 합성했다. 도금액에 수소 발생



열처리 이후 루테튬계 나노선의 확산 평가

a 450°C 1시간 열처리 이후의 루테튬@산화실리콘 코어셀 (Ru@SiO₂) 나노선 단면의 원소 분석 이미지 **b** 450°C 1시간 열처리 이후의 루테튬-코발트 합금@산화실리콘 코어셀 (RuCo@SiO₂) 나노선 단면의 원소 분석 이미지. 전기도금한 루테튬과 루테튬-코발트 나노선은 반도체 후공정의 열이력에서 저유전체로 확산되지 않아 차세대 배선 소재로서 가능성을 보여주었다.



루테튬 나노선의 전기도금 방법, 비저항 측정 방식과 루테튬의 지름에 따른 비저항 변화

a 루테튬의 전기도금 도식표 **b** In-situ 4-point-probe 방법으로 나노선의 비저항 측정 방법 도식표와 미리 제작한 금 나노 전극 위에 로딩한 단일 루테튬 나노선의 실제 측정 전자현미경(SEM) 이미지 **c** 루테튬 나노선의 지름에 따른 비저항 변화와 계산된 전자 산란계수. 현재 사용하는 반도체 금속배선 공정처럼 전기도금 방식으로 제작한 루테튬 나노선과 단일 루테튬 나노선의 정교한 비저항 측정 방식으로 미세구조와 나노스케일의 전기 비저항 상관관계를 규명했다.

출처: J. H. Moon et al., J. Mater. Sci. Technol. 105, 17(2022).

반응을 억제할 수 있는 완충제와 루테튬 환원을 보조할 수 있는 첨가제를 사용해 다양한 지름의 루테튬계 나노선을 합성했다. 이후 정밀 측정 장비를 이용해 진공 중에서 나노선 한 가닥의 비저항값을 측정했고, 나노선들의 미세구조와 비저항 사이의 상관관계를 규명했다. 이를 바탕으로 전기도금법으로 합성한

나노스케일 루테튬의 전자산란 계수를 처음으로 도출했다. 전자산란 계수는 금속 도체의 지름이 감소하는 경향을 계산할 수 있어 차세대 금속배선 저항에 대한 경향성을 예측하는 지표가 될 수 있다.

도체 외에도 배선을 구성하는 배리어와 라이너를 동시에 대체할 소재를 찾기 위해 루테튬-코발트 합금 나노선(루테튬 원자 비율 4~99%)을 조성별로 합성했다. 결정구조가 동일한 루테튬과 코발트는 반도체의 후공정 온도에서 전율고용체를 형성했으며, 전조성에서 동일한 스케일의 Ta/TaN 구조보다 비저항값이 낮았다.

전기도금한 루테튬계 나노선의 저유전체로의 확산 정도를 평가하기 위해 다공성 멤브레인 벽 내부를 저유전체 산화실리콘(SiO₂)막으로 코팅하고, 루테튬 및 루테튬-코발트 합금을 채운 뒤 반도체의 후공정 온도에서 열처리했다. 투과전자현미경의 에너지 분산 X선 분광법 결과 각 원소가 상호 확산되지 않음을 확인해 차세대 배선 물질로서 루테튬의 가능성을 확인했다.

이러한 연구개발 과정에서 난관에 부딪히기도 했다. 우선은 관련 분야의 정보가 한정적이었다. 대부분의 관련 논문은 기존 구리 배선을 더 효율적으로 활용하는 방안만 논할 뿐, 차세대 배선 소재 관련 논문은 매우 적었다. 또 매년 열리는 반도체 관련 학회에서 얻을 수 있는 정보도 적었다. 현재 반도체는 전 세계적으로 가장 중요한 자원이기 때문이다. 따라서 보안이 중요한 업계에서는 관련 정보를 외부에 잘 공개하지 않는다.

연구적으로는 수소 경쟁 반응으로 인해

나노스케일 기공 내 순수한 루테튬 금속 나노선을 도금하는 과정이 가장 어려웠다. 본래 루테튬은 전기도금이 어렵다. 산화 루테튬(RuO₂)으로 전기도금되기 십상이다. 금속 루테튬이 전기도금되더라도 고유한 촉매 활성으로 경쟁 반응인 수소 발생이 활발히 일어난다. 발생한 수소는 금속 내 포집되거나, 금속 표면에 붙어 금속의 추가 환원을 방해하거나, 충전율이 낮은 금속을 도금하게 한다. 따라서 나노스케일 기공 내 도금할 때는 수소 발생 반응 억제제가 가장 중요하다. 금속이온 전구체에 연결된 리간드의 종류에 따라 금속의 환원성이 변화한다는 점과 수용액 내 물 분자를 포집할 수 있는 완충제가 수소 발생을 억제할 수 있을 것이라는 연구가설을 수립했고, 이를 실제로 검증하는 과정을 거쳐 균일한 루테튬계 나노선을 합성했다.

기존 산업현장의 공법에 필요한 정보 제공

기존 반도체 배선 소재에 대한 탐색은 물리·화학적기상증착 방식을 통한 박막에 대한 연구가 주류였다. 그러나 본 연구는 이미 반도체 배선 공정에서 사용되는 전기도금법을 이용한 차세대 배선 소재 합성과 배선 관련 특성에 대한 정보를 제공하는 데 그 의의를 둔다. 전기화학 전략을 이용해 나노스케일에서 합성하기 어려운 루테튬계 나노선 합성법을 개발했으며, 단일 나노선에 대한 정교한 특성 평가 방법을 제공했다. 문준환 씨는 이 방법론이 새로운 배선 소재 탐색이나 차세대 배선 공정 개발의 단초를 제공할 것으로 보고 있다.

발전된 금속배선기술은 반도체소자의 저항을 낮춰 소비전력을 감소시키고, 속도 저하 문제를 개선해 메모리 및 로직의 성능을 향상시킬 수 있다. 반도체 뿐 아니라 가혹한 환경에서 쓰이는 우주탐사기술, 의료기술 분야 등 다양한 산업에 영향을 미칠 수 있다.

지도교수인 김영근 교수와 연구실 동료들, 그리고 부모님의 헌신적 도움 덕분에 원익상을 받을 수 있었다고 소감을 밝힌 문준환 씨. 앞으로도 가능성 있는 금속배선 물질에 대한 탐구를 계속 진행할 계획이다. 물질의 조합과 미세구조에 따른 다양한 물리학적 특성을 이해하고 그 상호 연관성을 알아낸 다음, 이를 재료공학적으로 설명해 차세대 배선 소재 개발을 한 단계 앞당기는 것이 목표다. 그리하여 산업계에 도움을 주고 우리나라가 4차 산업혁명을 선도하는 데 기여하는 것이 그의 포부다. 현재 졸업 후에는 해외 포닥 또는 대기업에 취업할 생각이라고.

그는 중·고등학교와 대학교 후배들에게 가천대학교 이길여 총장의 발언을 빌려 “‘One of them’이 아닌 ‘Only One’이 되기 위해 부단히 노력하자”고 조언했다. 과거에는 비약적 경제성장 덕택에 뒤처지지 않을 정도면 충분했지만, 지금은 성공하려면 남들과는 다른 개성이 필요하다는 것이다. 이번 연구도 마찬가지다. 남들이 가지 않는 나만의 좁은 길이라 나아가기 어려웠다. 그러나 끝까지 포기하지 않은 덕택에 원익상을 탈 수 있었다. 그는 지금도 개성과 집념이 강한 동료를 기다린다.

공존을 위한 기술을 찾아서 서울과학기술대학교 적정기술 동아리 ATST



서울과학기술대학교

빛이 세면 그림자도 짙어진다던가. 세상이 좋아질수록 어려운 사람들의 괴로움도 깊어진다. 그런 이들도 주어진 여건 속에서 편리하고 환경과 조화되는 삶을 살게 하기 위한 기술이 다름아닌 적정기술이다. 서울과학기술대학교에는 적정기술을 연구하는 ‘아티스트’들이 있다. 과연 어떤 사람들일까?

✍ 이동훈 📷 김기남



적정기술은 소외된 계층이나 개발도상국 지역 사람들의 삶의 질을 향상시키기 위해 특화된 기술이다. 깨끗한 물을 구하기 힘든 여건에 있는 사람들을 위한 라이프스트로 같은 제품이 적정기술 적용의 대표적 사례다. 첨단 기술과는 달리 사람에 초점을 맞춘 적정기술은 지구적 양극화를 겪는 요즘 큰 주목을 받고 있다. 오늘 소개할 ATST도 적정기술 동아리다. 적정기술과 서울과학기술대학교를 나타내는

01 세계가이지도 앞에 선 ATST 회원들. 가난과 저개발에 시달리는 사람들에게도 기술의 혜택을 제공하는 것이 ATST가 추구하는 적정기술의 목표다.

Appropriate Technology Seoul Tech의 머리글자를 따서 지었다. ‘에이 티 에스 티’로 읽을 것 같은데, 이 동아리에서는 ‘아티스트’로 읽는다. 생각할수록 훌륭한 작명이다. 서구 문명의 원류인 고대 그리스에서 예술과 기술은 서로 다르지 않았다. 그러한 인식이 예술과 기술이 다른 지향점을 갖고 있다고 보는 현대인의 사고방식에 비해 훨씬 더 핵심을 관통하고 있다는 느낌이다. 심미를 추구하는 예술도 제대로 구현되려면 뛰어난 기술이 필요하다. 훌륭한 기술 역시 그 자체만으로도 사람에게 감동을 줄 수도 있지 않은가. 특히나 이들이 추구하는 적정기술이라면 더욱 그렇다.

다양한 활동을 통해 배우는 적정기술

ATST는 2019년 2월 13일, 소외된 계층의 삶의 질을 높여줄 수 있는 방법을 찾고자 만들어졌다. 지도교수는 없다. 현재 조항서 회장(전기정보공학과 4학년) 이하 42명의 회원이 있다. 대외적인 인터넷 소통 창구로는 에브리타임, 인스타그램(@seoultech_atst)이 있다. ATST는 활동 내용이 다양하기로 유명하다. 적정기술





02

강연 참석, 새활용플라자 견학, 쓱쓱캠프 교육봉사 (2021~2022), 제13회 ODA 콘퍼런스 견학(2022), 고대앞마을 도시재생 사진 공모전(2023), 교내 적정기술 공모전(2019~2021), ATUS 연합 동아리 공모전 (2022) 등이 대표적이다.

서울 성동구에 위치한 새활용플라자는 폐자원 재활용 방법을 고안하기 위해 각종 강연, 전시, 산업 활동을 하는 곳이다. ATST는 지역사회에 필요한 아이디어를 얻고 전문을 넓히고자 이곳을 빈번하게 견학하고 있다.

쓱쓱캠프는 방학 중 3일 동안 2~8명으로 구성된 대학생 팀이 초등학교와 중학교를 찾아가 대학생의 다양성·창의성을 반영한 ‘나눔, 소통, 배움, 도전, 재미, 치유’라는 여섯 가지 공유가치를 담은 다양한 창의·인성 프로그램을 직접 기획·운영하는 대학생 교육 기부 프로그램이다. ATST에서는 5명의 공대생과 1명의 미대생으로 이루어진 팀이 파견되어, 비누 만들기 같은 과학 활동, 플레이콘을 이용한 미술 활동, 적정기술 페트병 전구 체험해보기 등을 진행했다. 회원들이 가장

02 ATST 회원들.
03 자신들이 구상한 기술로 어려운 사람을 도울 수 있다는 것이 가장 큰 보람이다.
04 조항서 ATST 회장.



03

인상 깊었다고 회고하는 행사로, 회원 간 단결력을 기르는 계기가 되었고 아이들 반응도 매우 좋아 롤링페이퍼까지 받았다.

ODA 콘퍼런스는 적정기술학회에서 주관하는 행사다. ‘기후변화와 탄소중립’을 주제로 여러 강연을 듣고, 각종 기업과 단체의 부스에 참여해볼 수 있었다.

고대앞마을 도시재생 사진 공모전은 고대앞마을 풍경과 주민의 생활상을 비롯해 과거와 현재의 다양한 모습을 담은 사진 공모전이다. 주제는 자유였다. ATST는 도시재생에 초점을 맞춰 과거의 모습이 사라지지 않고 공존하고 있는 지금의 고대앞마을을 촬영했다.

특히 교내 적정기술 공모전에선 ATST의 여러 팀이 다음과 같은 주제로 우수상과



04



05

장려상을 수상했다. 집합 금지 해제 이후 처음 열린 행사라, 이때 회원들을 오프라인에서 처음으로 만날 수 있었다. 참신한 아이디어와 다양한 시각을 한자리에 접할 수 있던 기회였다고 한다.

- ① 코로나 시대 UV-C와 자동분사 장치를 이용한 교내 손잡이 소독 장치
- ② RFID를 이용한 지하철 애견 캐리어 서비스
- ③ 대학생에게 더 넓은 경험을 제공하는 캠퍼스 액티비티 서비스
- ④ 시니어의 디지털 친숙화를 돕는 스마트 쇼핑 기기 및 스테이션 개발
- ⑤ 시각장애인 직선 보행 장치 개발

한편 ATST는 대학적정기술연합동아리(ATUS)에도 소속되어 있다. ATUS는 서울과기대, 한양대, 명지대를 중심으로 여러 대학 학생들이 참여하는 연합 동아리다. 국경없는과학기술자회 기자단, 적정기술 토론과 공모전 등 다양한 활동을 한다. 특히 적정기술 공모전

05, 06 중앙 동아리인 데다 적정기술 동아리인 만큼 가입 가능 학과 및 단과대 제한이 없다. 다양한 전공자의 시각으로 문제를 진단하고 해결할 수 있다는 것이 특징.



에선 서로 다른 전공의 학생들이 팀을 이루어 함께 아이디어를 발전시킨다.

과학기술의 열매를 모든 이에게

ATST는 적정기술 동아리이니만치 다양한 문화, 정치, 경제 상황을 이해한 후 이에 최적화된 기술을 개발해볼 수 있다. 기술에 대해 전혀 모르더라도 참가가 가능하며, 어려움을 겪는 사람들에게 자립 능력을 키워줄 수 있다.



또 다양한 전공의 회원으로 구성되어 있으므로 다양한 관점에서 문제를 관찰하고, 협동을 통해 해결하는 능력을 기를 수 있다. 이는 기업에서 요구하는 팀워크 경력에도 도움이 된다. 사기업 및 공기업 취업, 공무원, 대학원 진학, KIST 인턴 등 졸업한 선배들이 진출한 분야 역시 다양하므로 자신이 원하는 진로에 대해 멘토링도 쉽게 받을 수 있다. 특히 적정기술 쪽으로 진로를 정하고자 한다면 사회적 기업에 취업할 때 중요한 스펙이 된다.

이들은 2023년 1학기에 다섯 가지 활동을 계획하고 있다. 첫째는 동아리 내 적정기술 아이디어 공모전이다. 외부 공모전처럼 아이디어를 내고 발표하면서 동적정기술에 관해 공부함으로써 향후 외부 공모전을 대비할 수 있다.

둘째는 CPU(캠퍼스 특허 유니버시아드) 대회 같은 외부

07 아이디어는 동료들의 검토를 통해 타당성을 검증한다.

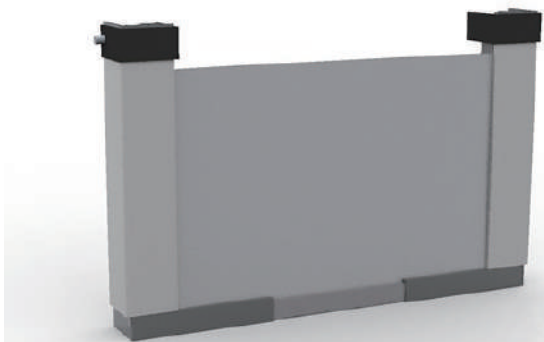
08 이들이 고안한 침수 방지 창문, 수해에 취약한 반 지하 가구를 위한 적정기술이다. 폭우로 실내에 물이 쏟아져 들어오는 것을 막을 수 있다.

공모전 출전이다. 셋째는 슈퍼로컬 적정기술 프로젝트 등 교내 행사 출전이다. 넷째는 작년과 같이 쏙쏙 캠프 참가다. 다섯째는 건국대 동아리와 연합해 진행하는 기업 초빙 프로젝트 '연합 대강연' 참가다. 기업을 초빙해서 하는 프레젠테이션 경연 대회로, 적정기술을 주제로 회원들이 발표하는 자리다. 그 밖에 MT, 회식, 영화 감상 등 친목 활동도 예정되어 있다.

적정기술을 잘 모르더라도 관심이 있으며 동아리 활동에 적극적으로 참여하고 배울 의지가 있는 서울과학기술대학교 학생이라면 누구나 ATST 회원이 될 수 있다. 입회 신청은 에브리타임의 ATST 가입 링크에서 받고 있다(구글폼 사용).

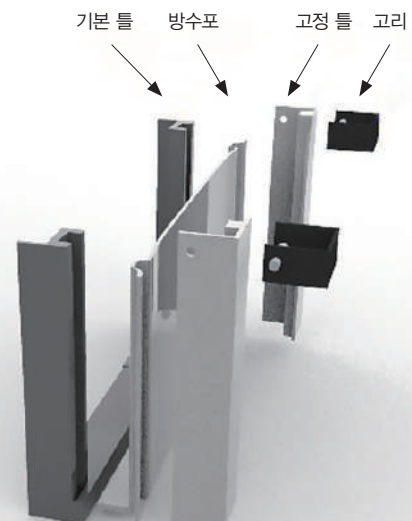
인류가 갈고닦은 과학기술의 열매를 모두에게 나누어 주고 싶다면, ATST의 문을 두드려보자.

Idea Developpe

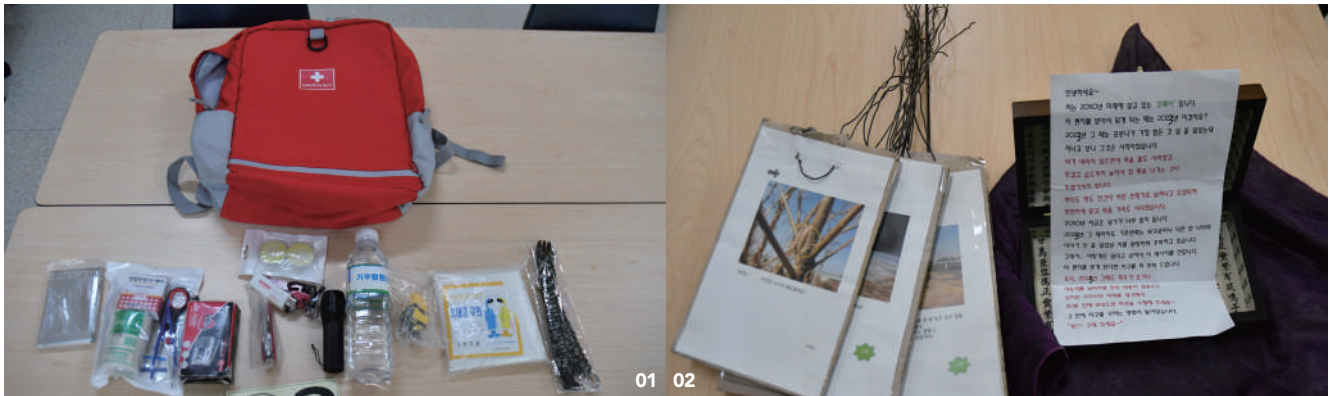


08

▲ 방수포 끼었을 때



▲ 구조



01 기후변화로 인한 재해에 대응하기 위해 생존 배낭도 꾸려본다. 02 2050년의 지구를 살리는 미션을 담은 설명문. 좌측의 설명문은 폐종이상자와 철사로 만들었다. 이런 교육용 자료 하나까지도 철저히 환경을 생각해 만든다. 03 교육센터 전경.

CLIMATE CHANGE EDUCATION CENTER



용인시
기후변화체험교육센터
소개 영상



※영상 및 소리가
자동 재생되니
공공장소에서는
반드시 이어폰을
착용하세요.

화석연료 연소로 인한 지구온난화.
수소를 비롯한 대체에너지가 각광받는 가장 큰 이유다.
지구온난화로 인한 기후변화의 엄중한 현실을
모든 연령대의 시민에게 알리고,
아껴 쓰는 삶을 생각하게 해주는 곳을 찾았다.

✍ 이동훈(과학 칼럼니스트)



04, 05 건물 내 엘리베이터도 학습 장비로 사용한 아이디어가 참신하다. 2023년 현재를 나타내는 1층 엘리베이터 출입구, 엘리베이터 타고 2층으로 올라가서 내리면 타임머신에 의해 2050년으로 이동한다는 설정이다.

누구나 쉽게 배우는 환경보호 용인시 기후변화체험교육센터

매년 여름과 겨울만 되면 “지구온난화로 인한 이상기후”라는 얘기가 연일 뉴스를 장식한다. 그러나 문명화와 도시화라는 갑옷 속에 들어앉은 상당수 현대인은 그 파괴적 영향을 체감하기가 쉽지 않다. 이는 특히 어린 세대에게 두드러진다. 그들은 이상기후가 상당히 심각한 시대에 태어나 살았기 때문이다.

이러한 현실에서 용인시 기후변화체험교육센터는 지구온난화의 심각성과 환경보호의 중요성을 시민에게 알리기 위해 2015년 3월 2일에 개관했다.

총 2층 규모로, 1층은 주로 아동의 눈높이에 맞춘 기후변화체험관이다. 2층에는 생태체험관(소규모 동물원)과 동영상 상영관, 강의장 등이 갖추어져 있다.

디지털과 아날로그가 접목된 쉽고 재미있는 교육, 보고 만지고 느낄 수 있는 반응형 콘텐츠와 개성 있는 캐릭터를 통한, 이해하기 쉬운 기후변화 설명, 생활 속에서 실천 가능한 지식과 경험 습득이 이곳의 특징이다.

기자가 찾아간 날에도 이곳에는 유치원생들이 교육을 받으러 잔뜩 몰려왔다. 세상에 태어난 지 몇 년 되지 않은 유치원생들, 태어난 이후 계속 이상기후만 경험했던 아이들이다. 또 엄청난 물질적 풍요와 첨단 기술을 당연하게 여기며

자라난 세대다. 기자가 어릴 때도 전기며 TV, 라디오, 전화가 없는 삶은 상상할 수도 없었다. 그러나 이 아이들에게는 스마트폰과 컴퓨터, 유튜브도 그 자리를 차지하고 있다. 이곳의 교육은 그러한 아이들을 위해 다양한 첨단기술을 동원해 진행되고 있다.

디지털 세대와 아날로그 세대 모두를 매료시키는 교육 프로그램

일단 1층 전시관에 들어서면 이곳 마스코트인 거대한 로봇 ‘리보’가 서 있다. 이 로봇부터가 단순한 전시물이 아니다. ‘리보’는 온몸이 재활용품으로 만들어져 있다. 환경을 생각한 만들새다. 그리고 관람객들의 기념사진을 찍어준다. 사진을 찍고 로봇의 손을 터치해 환경보호 실천을 약속하면 관람객 사진이 스크린에 전시된다.

그 외에도 AR 스크린을 통해 환경 교육을 받을 수 있다. 멸종위기종, 현지 하천인 경안천의 생물이 그려진 종이(교육센터에서 배부)를 AR 스크린 앞에 비추면 스크린에 실감나는 3D 영상으로 해당 생물의 모습이 나타난다. 또 터치스크린을 이용한 하천 쓰레기 분리수거 게임, 집 안 에너지 도둑 잡기 게임, 지구 대기의 온실가스 없애기 게임 등을

하면서 자연스럽게 기후변화의 심각성과 해결 의지를 깨닫게 된다. 인력으로 전기를 만들어보고 풍차도 돌린다. 공을 던져서 대기 속 탄돌이(탄소)를 제거하고 북극곰을 구하는 게임도 있다.

이 교육센터에는 현대와 2050년을 오가는 타임머신도 준비되어 있다. 진짜 타임머신은 아니고, 엘리베이터 1층 출입구는 현대, 2층 출입구는 2050년 미래라는 설정이다. 2050년에 도착한 관람객들은 기후변화로 황폐화된 지구를 만나게 된다. 기후변화로 인한 극한기후로 재해가 빈발하고, 그 재해에서 살아남기 위해 생존 배낭을 꾸리는 법을 배운다. 지구를 살리기 위한 다양한 미션도 부여된다. 미션이 적힌 카드도 폐박스와 폐철사 등 재활용 폐품으로 만든 것으로 이곳의 알뜰함과 자원 절약 정신을 엿볼 수 있다.

2층의 생태체험관에는 도롱뇽, 도마뱀, 자라 등 30여 종의 생물이 관람객들을 반긴다. 또 현웃, 레코드관, 고철, 휴지심 등 다양한 폐품으로 공예품을 만들 수 있는 교육 프로그램도 준비되어 있다. 먼저 다녀간 교육생들이 만든 작품도 준비되어 전시되어 있다.

교육과 전시는 옥외에서도 진행된다. 옥상에는 태양전지와 텃밭이 있다. 그리고 교육센터 바로 옆에는 습지 생태학습장이 있어 습지 생물을 관찰하고 미션을 수행하는 등 여러 활동을 할 수 있는 장소로 쓰이고 있다.



06 교육센터의 마스코트인 로봇 '리보'. 기념사진을 찍어주는 기능도 있다. 07, 08 생태체험관의 동물들. 도롱뇽 '아홀로틀'과 도마뱀 '비버디 드래곤'.



07 08



09



10

이곳의 주요 교육 프로그램은 다음 표와 같다.

프로그램명	대상	교육 내용
꾸러기 기후탐험대(해설)	유아 등 (단체)	체험 콘텐츠를 이용한 기후 및 환경 교육
찾아가는 기후·환경교육	초등 1~6학년	초등 교과 연계형 기후 및 환경교육
위기탈출 2050	중등(단체)	체험 콘텐츠와 습지를 활용한 중등 맞춤형 통합 환경 교육
2050 초록지구처방전	가족 (초등 포함)	2050년 지구를 구하는 초등 가족 맞춤형 환경 생태 체험 교육
사계절생태놀이 (유아 가족 시범 프로그램)	가족 (유아 포함)	생태놀이 중심의 유아 가족 맞춤형 환경 교육
맞춤형 특별 프로그램 (대학교 전공 연계, 지구의 날, 환경교육주간 등)	단체, 가족	주제별 특별 프로그램 운영
기후탐험대 '초록이의 비밀을 찾아라'	초등 단체	체험 콘텐츠와 생존 배낭을 활용한 초등 맞춤형 통합 환경 교육
꼬마도시농부	초등 3~4학년	옥상 텃밭에서 직접 재배·수확한 작물을 통해 올바른 먹거리에 대해 생각해보는 체험 환경 교육
우리는 도시농부	성인	도시 농업에 대한 이해를 높이고 지속가능한 삶을 위한 시민 인식 개선 생태 전환 교육
되살림	성인	생활 속 재활용품을 활용한 업사이클링 DIY 활동

이러한 교육은 모두 예약제로 진행되며, 관람 및 이용 안내는 다음과 같다.

관람 시간	09:00~17:00
휴관일	매주 월요일(월요일이 공휴일인 경우 다음 날), 신정, 설·추석 연휴
입장료 및 교육비	무료
예약 및 문의	전화 031-324-4878(체험), 031-324-4879(단체 및 해설) 팩스 031-339-6411
주소	[449-030] 경기도 용인시 처인구 동부로162번길 14(남동) 기후변화체험교육센터
대중교통(버스)	10-4, 16, 83, 83-(용인공용버스터미널, 라이프아파트 정류장) → 기후변화체험교육센터 (삼삼부락 정류장) 하차

추운 겨울이 끝나고 봄이 온다. 하지만 올여름은 또 얼마나 더우려나 싶은 걱정도 슬슬 밀려온다. 복잡한 도시를 벗어나 넉넉한 자연 속에 자리 잡은 이 교육센터에서 아이들과 함께 기후변화의 심각성과 환경의 소중함을 깨닫는 것은 어떨까.

09 멀티터치 테이블 게임 '초록이의 비밀'. 대체에너지를 만들어내면 온실가스를 없애 지구 기온을 낮추는 게임이다. 10 이곳을 거쳐간 교육생들이 폐품을 재활용해 만든 공예품. 11 교육센터 설립 취지에 맞게 옥상에도 텃밭과 태양전지 등 친환경 시설이 있다. 텃밭은 도시 농부 교육장으로 쓰인다. 12 교육센터 옆 습지. 이곳도 생태학 습장으로 쓰인다.



11



12

에너지를 정복하는 자, 세계를 정복하라! 〈디멘션 W〉

에너지 없이는 어떤 일도 할 수 없다. 그래서 사람들은 에너지를 얻기 위해 목숨을 건 싸움도 불사한다. 그 싸움은 새로운 차원의 에너지가 개발된 후에도 계속될지 모른다.

✍ 이동훈(과학 칼럼니스트)



돌이켜보면, 세상의 모든 큰 싸움의 배경에는 에너지가 있었다. 그 에너지는 때에 따라 인력이기도, 자연력이기도, 천연자원이기도 했다. 그 이유는 무엇일까? 사람이든 자연이든 에너지 없이는 어떤 일도 할 수 없기 때문이다.

물론 인간들은 기존의 에너지에만 만족하지 않았다. 계속해서 새로운 에너지를 개발해왔다. 그러나 그 새로운 에너지를 둘러싼 싸움 역시 계속되었다. 그리고 그러한 양상은 유감스럽게 앞으로도 변하지 않을 것 같다. 이번엔 다룰 애니메이션 〈디멘션 W〉 역시 그러한, 좋게 말하면 현실적이고 나쁘게 말하면 암울한 세계관에 기반한 작품이다.

일본의 만화가 이와하라 유지(岩原裕二)의 동명 원작을 2016년 극화했다. 서기 2036년, 과학자 유리자키 시도 박사(하시 타카야 분)는 우리가 살고 있는 세계와 다른, 네 번째 차원축인 W 차원축의 존재를 알아내고, 이 차원축에서 에너지를 끌어올 수 있는 차원 간 전자유도 장치, 통칭 ‘코일’을 상용화한다. 이로써 전 세계의 에너지 문제는 일거에 해결되었다.

36년이 지난 2072년, ‘뉴 테슬라 에너지’사는 전 세계 60개소에 W 차원의 에너지를 끌어들이 안정적으로 배포하는 타워를 세우고 이 에너지를 독점 배포했다. 그러나 정품 코일이 아닌 부정 코일을 사용해 에너지를 몰래 훔쳐 쓰는 사람들이 있었다. 뉴 테슬라 에너지사는 이를 좌시하지 않았다. 주인공 마부치 코마(오노 다이ске 분)는 뉴 테슬라 에너지사가 간접 고용한 해결사로, 부정 코일을 단속하고 압수하는 일을 맡고 있다. 혼자 임무를 수행하던 그에게 우연한 기회에 파트너가 생긴다. 파트너의 이름은 유리자키 미라(우에다 레이나 분). 이름에서도 느껴지듯이 그녀는 W 차원축을 발견한 유리자키 시도 박사와 관련이 있었다. 미라는 시도 박사가 직접 설계 제작하고, 자식처럼 아끼던 인간형 로봇이었던 것이다. 뉴 테슬라 에너지사 직원들과 대치하던 시도 박사는

미라에게 “부정 코일을 단속하라”는 유언을 남기고 자살한다. 미라는 그 유지를 받들어 코마와 함께 살며 코마의 일을 돕는다. 너무나도 메마르고 기계적인 인간 코마, 그리고 인간 이상으로 감정이 풍부하고 상냥한 로봇 미라. 이들 콤비는 여러 부정 코일 사용 사건을 해결하러 다닌다. 그리고 그 과정에서 감추고 싶었던 서로의 비밀도 알게 되는데….

과거를 딛고 가능성의 세계로 나아가자

이 작품은 애니메이션 팬들 사이에서도 그리 유명하거나 인기가 많지는 않다. 실제로 감상해보면 그 이유를 짐작할 수 있다. 원작에 비해 그림체는 예뻐졌지만, 너무 많은 내용(원작은 무려 16권 분량에 달한다)이 생략되었다. 때문에 원작을 읽지 않은 시청자에게는 내용 전달이 다소 불친절해 보이는 부분도 있다.

하지만 물리학, 특히 이론 물리학에 관심 있는 시청자에게는 꽤 흥미로운 구석도 많다. 대충 주워섬겨봐도 질량에너지등가원리(즉 $E=mc^2$), 차원론, (다중)우주론, 엔트로피 증가로 인한 우주의 열 죽음 등 중요한 과학적 개념이 애니메이션의 문법에 맞게 편곡되어 버무려져 나온다. 최종 보스 격인 악당 하루카 시마이어(카지 유키 분)와의 대결 장면에서는 과거 센세이션을 일으킨 SF 영화 〈인터스텔라〉(2014년작)를 연상시켰다.

작품 시점으로부터 수년 전 하루카 시마이어는 생명체의 차원 간 이동을 연구하고 있었다. 기존 코일은 생명체의 차원 간 이동에 모두 실패했다. 그것은 생명체란 곧 무엇에도 구속받지 않는 가능성을 지닌 존재였기 때문이다. 그리고 코일은 그 가능성과 깊이를 다룰 수 없기 때문에 생명체를 이동시킬 수 없었다. 하지만 이러한 시도가 너무 위험하다고 판단한 뉴 테슬라 에너지와 유리자키 시도 박사가 연구를



극의 두 주인공 마부치 코마와 유리자키 미라. 작품은 에너지뿐 아니라 첨단기술 문명의 여러 빛과 그림자도 다양하게 조명하고 있다.

금지시키자, 하루카 시마이어는 분노와 광기에 빠져 불법적인 생체실험까지 해가며 생명체의 차원 간 이동이 가능한 궁극의 코일 '제네시스'를 개발하는 데 성공한다. 뉴 테슬라 에너지사는 코마를 위시한 특수부대를 파견해 하루카 시마이어 제압과 제네시스 압수를 시도했다. 그것이 바로 코마가 미라에게도 말하지 못했던, 그의 마음을 담아 걸게 만든 크나큰 비극의 시작이었다.

코마는 다른 차원에 살고 있던 하루카 시마이어를 다시 만나 싸움을 벌이게 된다. 그러면 서 나를 나이게 하는 것은 다름 아닌 스스로의 역사, 즉 기억임을 깨닫는다. 기억이야말로 우리의 차원과 W 차원을 연결하는 열쇠이자, 인간과 우주를 최종 결과가 정해지지 않은 가능성의 세계로 나아가게 해주는 원동력이고, 그 가능성이 모두 상실되면 생명도 에너지도 끝임을 알게 된다. 인간은 자신과 세계를 알기 위해 철학을 만들었다. 철학 중 외부 세계에 관한

것은 과학으로 발전했다. 그리고 그 과학 중 철학의 본령으로 가장 가까이 돌아온 것이 바로 이론물리학이다. 작품은 그런 부분까지도 새삼 일깨워준다.

작품 속 야소가미 호수 살인 사건, 그리고 마지막 부분에서 고인이 된 유리자키 시도 박사가 살아 있는 하루카 시마이어를 만나는 장면에서도 암시되듯이 3차원을 넘어서는 고차원의 세계는 우리 인간이 감히 발을 내디딜 수도, 온전히 이해할 수도 없다. 하지만 그런 세계마저도 이해하려고 애쓰는 점이야말로 인간의

훌륭한 점 중 하나다. 반면 극 중은 물론 현실에서도 드러나듯이 서로의 욕구와 입장 차이를 메우지 못하고 무력투쟁까지 벌이는 것은 인간의 못난 점이다. 러시아·우크라이나 전쟁으로 에너지 가격이 폭발적으로 인상되고, 그로 인해 대체에너지에 관심이 높아지고 있다. 하지만 실용성 높은 대체 에너지를 발견한다 해도, 우리의 못난 부분을 조절하지 못하면 반드시 위태로워질 것이다. 그리고 이 우주에는 애당초 무한한 에너지 같은 것도 존재할 수 없다(원작 만화에서도 그 점을 강조한다). 그러나 인간의 욕심은 무한하다.

그런 인간이 어떻게 해야 유한한 에너지를 알뜰하고 평화롭게 활용하고 보다 의미 있는 진보를 이룰 수 있을까? 그런 의문을 되새기게 해주는 애니메이션, <디멘션 W>였다.



이 작품은 동명의 만화를 원작으로 하고 있다.

R&D 관련 구인 및 구직

RECRUIT

연구개발(R&D) 관련 직종의 구인 및 구직을 소개합니다. R&D 관련 직종(연구직, 기획, 관리, 홍보 등)의 구인 및 구직 관련 자료(구인 공고, 자기소개서)를 이메일로 보내주세요.

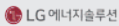
보낼 곳 eco_news@naver.com
문의 053-718-8251, <이달의 신기술> 담당 김은아 기자



LG화학(lgchem.com)

2023년 해외 R&D 우수 인재 모집 (유럽 지역, 석·박사)

- ❖ **담당 업무** : 첨단소재사업본부, 2차전지 재료 및 미래 자동차용 핵심 재료 개발, 차세대 디스플레이, 반도체, 친환경·에너지 소재 및 공정
- ❖ **응모자격 및 우대사항** : 이공계열 전공, 현재 유럽 지역에 거주 중이며, 정규 4년제 대학 석·박사 학위 및 취득 및 취득 예정자 또는 박사 후 연구원(Post-Doc.) 등으로 재직 중인 자, 해외여행에 결격사유가 없는 자, 군필 혹은 면제자(남성)
- ❖ **근무 형태** : 정규직
- ❖ **근무처** : 서울시 강서구, 대전시 유성구
- ❖ **모집 기간** : 3월 15일까지
- ❖ **접수 방법** : LG그룹 채용사이트 내 LG화학 모집 공고에서 온라인 지원



LG에너지솔루션(gensol.com)

[신입/경력] 분석 R&D 상시 인재 채용

- ❖ **담당 업무** : 분석(R&D), 차세대 제품 개발 가속화를 위한 분석, 이슈 해결, 분석법 개발, 컨설팅 역할 등
- ❖ **응모자격 및 우대사항** : 화학공학·기계공학·전자전기공학·산업공학 등 관련 해당 학과, 경력직 지원의 경우 해당 분야 경력 만 36개월 이상 필수(지원서 작성 시점 기준)
- ❖ **근무 형태** : 정규직
- ❖ **근무처** : 대전시 유성구
- ❖ **모집 기간** : 상시 채용
- ❖ **접수 방법** : LG그룹 채용사이트 내 채용 사이트를 통한 온라인 지원



㈜센테크코리아(senttechkorea.com)

제품 개발·회로설계 개발자 채용

- ❖ **담당 업무** : 회로설계·분석, 제품 개발, 샘플 제작, 실험
- ❖ **응모자격 및 우대사항** : 대졸 이상(2~3년), 신입, 경력(관련 업무 10년 이하), ADC, Op-Amp, DC-DC 설계 경험자, 센서 이용 제품 개발 경험자, 제품에 대한 분석·설계·개발 등을 구현할 수 있는 개발 전문 인력
- ❖ **근무 형태** : 정규직
- ❖ **근무처** : 경기도 파주(기술연구소)
- ❖ **모집 기간** : 채용 시까지
- ❖ **문의** : 총무팀 031-8071-4400



㈜대하(daehacom.co.kr)

R&D 센터 컬러리스트, 소재 컬러 개발 정규직 채용

- ❖ **담당 업무** : 자동차 내외장재 플라스틱 소재 컬러 개발
- ❖ **응모자격 및 우대사항** : 대졸 이상 (화학공학, 신소재·재료공학 우대), 경력 무관, 유관 업무 경력자, 컴퓨터활용능력 우수자, 자격증(컬러리스트기사, 컬러리스트산업기사) 보유자 우대
- ❖ **근무 형태** : 정규직
- ❖ **근무처** : 충남 당진
- ❖ **모집 기간** : 4월 15일까지
- ❖ **문의** : 인사총무팀 041-359-3578

QUIZ. 다음에서 설명하는 단어는 무엇일까요?

수소는 다양한 방식으로 생산하는데, 이 과정에서 이산화탄소 발생 및 CCS 공정 도입 여부에 따라 수소는 그레이·블루·그린 등 각각 다른 색상으로 식별할 수 있다. 그렇다면 이 중에서 이산화탄소를 전혀 배출하는 않는 수소는 무엇일까?

※ 퀴즈 답변은 eco_news@naver.com으로 보내주세요.

독자 선물은 교환, 환불이 불가합니다. 주소 불명 등으로 반송 시 재발송하지 않습니다.

113호 정답 및 당첨자

테슬라

정민교, 여하은, 송영도, 최석준, 박성원



손목 보호 마우스 패드 고속 무선충전기

정부24, 새로운 길을 찾다

대한민국정부 서비스, 정보를 정부24(www.gov.kr) 한 곳에서!



정부서비스

- 정부서비스 7만여건
- 내가받을 수 있는 서비스를 맞춤형으로 안내
- 42종의 나의 생활정보(휴면예금, 세금환급 등)

민원24

- 온라인 민원신청·열람·발급
- 371종 민원을 모바일로 신청
- 기관별, 분야별민원사무 5천여종 제공

정책·정보

- 생활에 필요한 주요정책정보
- 정부소식·기관정보
- 지자체소식·축제정보

정부24 앱으로 다운 받으세요!



Google Play



App Store



ONE ONE store

NEWS

MARCH



관심 있는 콘텐츠, 사업화에 유망하다고 생각하는 신기술을 비롯해 추가됐으면 하는 내용, 바라는 점 등이 있다면 많은 참여 바랍니다.
eco_news12@keit.re.kr / 053-718-8251

2023년 알키미스트 사업, 신규 주제 3개 등 240억 지원

1 지속가능한 비욘드 플라스틱 (Sustainable Beyond Plastic)

생분해 시점·속도 제어가 가능하고 고기능성이면서도 물질 재순환이 손쉬운 바이오 플라스틱 생산·활용 기술 확보
▶ 화석연료 플라스틱을 대체하는 신소재 플라스틱의 결정판

2 감각과 경험을 공유하는 멀티버스 아바타 플랫폼

현실과 동기화된 가상공간의 아바타가 느끼는 오감(촉각, 미각 등)을 현실의 인간이 그대로 경험할 수 있는 멀티버스(가상&현실) 구현
▶ 현존 최고의 가상현실을 초월하는 궁극의 메타버스 플랫폼

3 도시형 이산화탄소 포집 및 활용

도시 인프라(건물, 도로, 에너지 기반시설 등)가 스스로 CO₂를 흡수·저장·전환(Carbon Capture and Utilization & Storage, CCUS)하는 기술
▶ 도시 전체가 탄소 저감을 위한 거대한 CCUS 시설

2023년 알키미스트 프로젝트 신규 테마 주요 내용

산업통상자원부는 미래산업의 판도를 바꿀 도전적이고 혁신적인 연구개발(R&D) 사업(산업기술 알키미스트 프로젝트)의 신규 연구 테마 3개를 선정하고, 테마별 연구과제 수행 기관을 모집한다. 2023년 산업기술 알키미스트 프로젝트 신규 테마 연구 과제 공고는 2월 20일부터 3월 21일까지 진행하며, 테마별로 6개 내외의 개념 연구 과제(총 18개 내외)를 선정해 과제당 2억 원씩 총 33억7000만 원을 지원할 계획이다. 공고 관련 자세한 내용은 산업기술R&D정보포털(tech.keit.re.kr)에서 확인할 수 있다.

2023년 알키미스트 프로젝트 신규 테마는 국내외 기술개발 한계를 뛰어넘어(Beyond), 지속가능(친환경 플라스틱, 탄소중립), 초현실(멀티버스) 등 미래산업의 판도를 바꿀 도전적이고 혁신적인 기술이 선정됐다. 산업부는 올해 신규 테마 3개를 포함해 10개 테마(3단계 4개, 2단계 3개, 1단계 3개)를 지원하는 등 총 240억 원을 투입할 계획이다. 작년 알키미스트 프로젝트 최초로 3단계(본연구)에 진입한 4개 테마(과제)는 민간투자 90억 원 유치, 특허출원 30건(등록 8건), 16개 멤버십 기업 확보 등 1차 연도 성과만으로도 본격적인 상용화 가능성을 보여준 만큼, 올해도 연구 성과 창출에 박차를 가한다. 또 작년 개념 연구(1단계)를 마친 3개 테마, 9개 과제는 본연구에 앞서 연구 방향을 심화하는 선행 연구(2단계)를 지원하고, 올해 말 평가를 통해 대규모(연 40억 원 내외, 5년) 지원 과제(본연구, 테마당 1개)를 선정할 계획이다. 아울러 알키미스트 프로젝트 연구자가 도전적 R&D 과제 수행에만 전념할 수 있도록 관련 제도 개선도 병행해나갈 예정이다.

이와 관련해 산업부 이만우 산업기술융합정책관은 “알키미스트 프로젝트는 산학연 최고의 전문가로 구성된 드림팀이 수행하고 있으며, 성공과 실패에 연연하지 않고 혁신에 기초해서 초고난도, 초격차 기술개발에 과감히 도전하도록 우리 연구계의 풍토를 바꾸고 있다”고 강조했다. 더불어 “산업부도 알키미스트 프로젝트를 통해 연구자들이 창의적 역량을 마음껏 발휘해 경제·사회적 파급력이 큰 미래 선도 기술을 개발하고 산업계에 확산될 수 있도록 적극 지원하겠다”고 밝혔다.

문의처 산업기술융합정책관 산업기술개발과(044-203-4535)

산업통상자원부 산하 한국산업기술평가관리원, 한국산업기술진흥원, 한국에너지기술평가원,
한국공학한림원 등 R&D 대표기관 및 최고 권위인 공학기술자단체가 공동으로 발행하는 <이달의 신기술>




NEW TECHNOLOGY OF THE MONTH

MARCH 2023

<이달의 신기술>은 3월부터 신규 정기구독 서비스를 중단합니다.
현재 구독 중인 구독자분들에게는 10월호까지 매거진을 발송해드릴 예정이오니
기타 문의 사항이 있으면 아래 번호로 연락해주시기 바랍니다.



02-360-4859



“기술주도 혁신성장,
기술기반 산업강국의
촉진자가 되겠습니다”

www.keit.re.kr

www.facebook.com/keitkorea

유튜브 검색창에서 'KEIT' 검색