

국내 재생에너지 연계 수전해 청정수소 생산 발전 전략: 국내외 관련 연구의 비교, 분석을 중심으로

최영열¹ · 정인성² · 김태진^{3†}

¹전북대학교 융합기술경영학과, ²전북대학교 신재생에너지소재개발지원센터, ³전북대학교 공과대학 산업정보시스템공학과

Development Strategy of Clean Hydrogen Production by Renewable Energy-based Water Electrolysis in Korea

YOUNG YIEL CHOI¹, IN SUNG JUNG², TAE JIN KIM^{3†}

¹Department of Management of Technology, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju 54869, Korea

²New & Renewable Energy Material Development Center, Jeonbuk National University, 20-27 Sinjaesaengeneoji-ro, Haseo-myeon, Buan 56332, Korea ³Department of Industrial and Information Systems Engineering, Jeonbuk National University College of Engineering, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju 54896, Korea

†Corresponding author :
tjkim@jbnu.ac.kr

Received 29 August, 2023
Revised 6 September, 2023
Accepted 10 October, 2023

Abstract >> This study compares domestic and foreign research on renewable energy-based water electrolysis clean hydrogen. Domestic studies from 2010 to 2023 focused on technological efficiency, energy efficiency, and system efficiency, with few analyzing infrastructure and technology trends. Overseas research initially focused on technological efficiency and stability, but has since shifted to economic and environmental impact, policy effectiveness, industry-university-research cooperation, and sustainability. To improve water electrolysis technology production, this study suggests prioritizing technology stability over efficiency, resolving government regulations and resident acceptance issues, promoting industry-university-institute cooperation for rapid commercialization of research results, and developing a strategy for sustainable development of renewable energy-based water electrolysis technology.

Key words : water electrolysis(수전해 수소 생산 기술), Technology stability(기술적 안정성), government regulations and resident acceptance (정부 규제와 주민 수용 문제 해결), Rapid commercialization (연구 결과의 신속한 상용화), Sustainable development(지속가능한 발전을 위한 전략)

1. 서론

수소는 전력화가 힘든 시멘트, 철강, 석유화학 등 탄소 집약적 산업 공정에서 화석연료를 대체할 수

있고 건물, 수송 등 활용처가 다양할 뿐만 아니라 저장 및 운송이 용이하여 경제 전반의 탈탄소화에 매우 적합한 자원이다.

이러한 수소경제 활성화를 위한 주요 선진국들의

장기 전략 핵심은 중단기적으로는 경제성 확보가 용이한 블루수소를 활용할 수 있겠으나, 궁극적으로 탄소중립이라는 목표 달성을 위해 재생에너지에 기반한 수전해 장치를 통한 그린수소를 대규모 생산하고, 그 활용 범위를 건물, 수송, 산업 등 전 영역에 걸쳐 단계적으로 확대하는 것이다. 이를 위해 주요 선진국들은 대규모 프로젝트를 통해 현재의 높은 그린수소 생산 비용을 절감하고 경제성 확보를 목적으로 기술 개발 및 상업화에 적극 투자하고 있다¹⁾.

우리나라 정부도 2019년 1월 ‘수소경제 활성화 로드맵’을 발표하면서 본격적으로 수소경제로의 전환을 위한 정책을 추진하기 시작했다. 2021년에는 세계 최초로 ‘수소경제 육성 및 안전관리에 관한 법률’을 시행하였으며, 2021년 11월 청정수소경제 선도국가로의 도약을 목표로 ‘제1차 수소경제 이행 기본계획’을 발표했다. 하지만 정부가 제시한 정책적 목표와는 달리 그린수소 생산 핵심인 국내 수전해 기술 수준은 선진국 대비 저조하고, 여기에 수전해 설비의 높은 비용이 더해져 대규모 상업화에 도달하지 못하고 있는 실정이다. 이에 따라 국내 그린수소 생산 원가는 높게 형성되고 있고, 이는 차후 해외 수소경제 선도국들과의 경쟁을 더욱 힘들게 하고 있다. Hong²⁾은 이러한 결과는 단지 우리나라가 관련 기술이 부족한 것뿐만 아니라, 산업 현장을 반영한 더욱 실효성 있는 정책, 사회적인 인식 전환 등 다각적인 검토가 필요함을 강조했다.

하지만 국내 관련 연구들은 주로 국내 수전해 기술 경제성 평가³⁾, 수소 생산을 위한 수전해 기반 시스템 연구⁴⁾ 등 기술적 차원에 주목하고 있어 국내 재생에너지 기반 수전해 청정수소 생산 기술 고도화 및 안정화를 위한 인프라 및 사회적, 환경적 차원을 고려하지 못하고 있다. 비록 서종수 외는 그린수소 생산을 위한 수전해 기술 개발 동향 등에 주목하였으나, 이 역시 기술적 차원에 국한되어 매우 제한적임을 알 수 있다.

이에 본 연구는 탄소중립 및 그린수소 대규모 생산의 핵심인 재생에너지 기반 수전해 청정수소 생산 관련 국내외 연구 동향을 분석하고, 국내 수전해 청

정수소 기술 개발 및 안정화를 위한 실무적 전략을 제시하고자 한다.

2. 재생에너지 연계 수전해 청정수소 생산

2.1 개념과 원리

재생에너지 연계 수전해는 태양광, 풍력 등 재생 에너지를 통해 물을 원료로 전기 화학적 분해 반응을 일으켜 수소와 산소를 생산하는 기술을 의미한다. 실험적으로는 전해질이 있는 두 개 전극에 직류 전류(direct current)를 가하면 물분해 반응이 일어난다. Fig. 1은 수전해 셀의 기본 작동 원리 모식도를 나타낸 것이다. 평형 전압보다 충분히 높은 셀 전압이 인가되면 음극(cathode)에서 환원 반응으로 수소를 생산하고, 양극(anode)에서는 산화 반응으로 산소가 생산된다.

분리막은 전극에서 생산된 화학전하(양이온 혹은 음이온)를 한쪽 전극에서 다른 전극으로 운반하는 역할을 하고, 양단에 생성된 수소와 산소가 서로 섞이는 것을 막아준다.

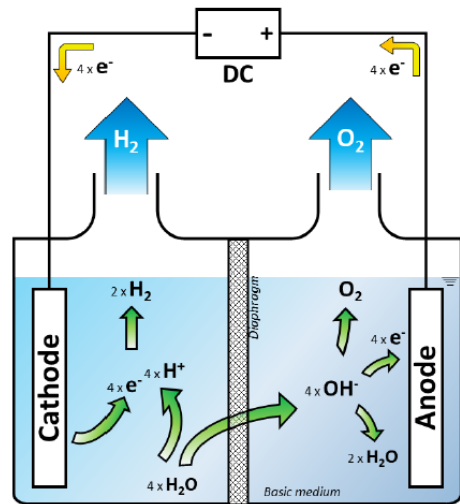


Fig. 1. The basic operating principle of an electrolysis cell

2.2 구성 요소와 유형

통상적으로 수전해 설비는 Fig. 2와 같이 셀(cell), 스택(stack), 주변 장치(balance of plant, BOP)로 구분한다. 셀은 설비 핵심 부품이자 전기화학 반응이 발생하는 장소로 2개의 전극(양극과 음극), 분리막, 양극판 등으로 구성된다. 이러한 단일 셀을 층층이 쌓아 직렬로 연결한 것이 스택이고, 이외에도 기계적 지지체인 씰(seals), 프레임(frame), 엔드 플레이트(end plate) 등이 포함된다. 마지막으로 BOP는 전 시스템의 구동, 제어를 담당하며 냉각, 수소의 순도, 압력, 변압, 물 공급과 산소 가스 출력을 위한 장비들이 포함된다.

모든 유형의 수전해 셀은 작동 원리가 같으나, 사

용되는 전해질에 따라 알칼라인 수전해, 고분자전해질막(polymer electrolyte membrane, PEM) 수전해, 음이온교환막 수전해, 고체산화물 수전해로 구분할 수 있다. 알칼라인 수전해는 현재까지 기술 성숙도가 가장 높아 이미 상업화와 대규모 그린수소 생산에 적극 활용되고 있으며, 고분자전해질막 수전해는 최근 상용화된 기술로 이제 실증 및 상용화 단계에 진입했다. 반면 음이온교환막, 고체산화물 수전해 기술은 연구개발 단계로, 제조 및 상업화에 참여하는 기업이 거의 없어 기술 성숙도가 가장 저조하다.

2.3 국내외 수전해 기술 수준 비교

Fig. 3은 수전해 유형별 기술 성숙도를 보여준다. 구체적으로 보면, Siemens Energy (München, Germany)는 PEM 수전해인 Silyzer 300 모델의 기술 개발을 통해 24개까지 확장 가능한 모듈 구성을 통하여 17.5 MW까지 통합시스템을 구성할 수 있는 기술을 확보했고, Energiepark Mainz (Mainz, Germany)는 8.4 MW 용력과 연계된 power to gas (P2G) 프로젝트 이후 현재 12개의 모듈을 연계한 6.0 MW 규모의 H2Future 프로그램을 통해 실증을 진행하고 있다. Simens Energy Silyzer 200 모델에서는 1.0 MW, Silyzer 300 모델에서는 단일 스택 모듈을 0.7 MW로 구성하고 있다.

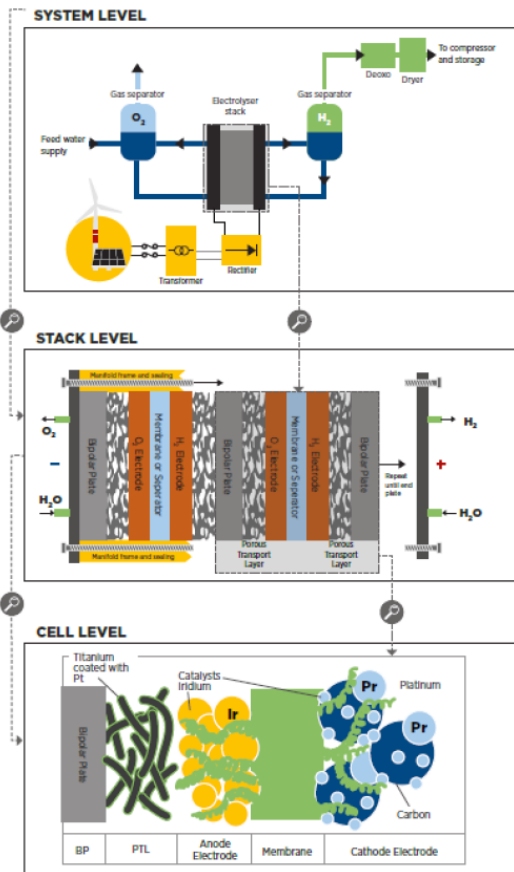


Fig. 2. The basic components of an electrolysis facility

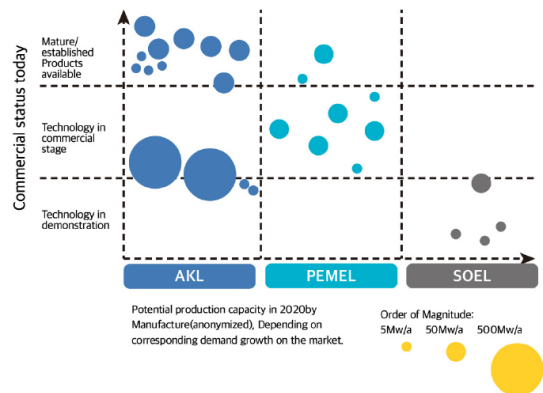


Fig. 3. Technology readiness level (TRL) by type of electrolysis

한편 ITM Power (Sheffield, UK)는 Shell (London, UK), Linde (Dublin, Ireland)와 상호 연계하여 ITM Linde Electrolysis GmbH를 설립했고, 100 MW 대용량급 PEM 수전해 장치의 스케일 업 기술을 확보하고 있다. 현재는 정련 과정에서 필요한 그레이수소 그린수소로 대체하는 REFHYNE P2G 프로젝트를 통해 실증을 수행하고 있으며, 2024년까지 매년 5.0 GW 규모로 양산을 준비 중에 있다.

또한 Cummins (Columbus, IN, USA)는 가스 업체인 Air Liquide (Paris, France)와 전략적 제휴를 체결하고 2.5 MW 단일 스택을 개발하여 적용한 5.0 MW 통합 시스템을 개발하였고, 5.0 MW 4개를 연결하여 20 MW 규모로 캐나다 퀘벡 지역 내 수력 발전과 연계하는 P2G 실증 사업을 전개하고 있다. 이러한 P2G 사업을 통해 매년 온실가스 27 kton이 감축될 것으로 추정된다. Cummins의 PEM 수전해 기술은 Hydrogenics (Mississauga, Canada)의 인수를 통해 이루어졌고, Hydrogenics의 1.5 MW급 HySTAT 모델의 고밀도화를 지속적으로 개발 중에 있다.

국내 유일의 PEM 수전해 시스템 개발 업체인 (주)엘캠텍(Seoul, Korea)은 정부 연구개발 사업 참여를

통해 기술적 역량을 축적하고 있으며, 150-350기압 PEM 수전해 스택을 개발한 바 있다. 최근에는 축적된 기술력을 기반으로 산업통상자원부 과제를 통해 1.0 MW 규모의 PEM 수전해 단일 스택을 개발, 시험 평가하고 있다¹⁾. 이러한 수전해 국가별 기술 개발 현황을 정리하면 Table 1과 같다.

따라서 단일 MW급 스택 기준으로 PEM 수전해 기술의 국내외 격차는 크지 않다고 볼 수 있지만, 해외의 경우 대규모 실증 및 스택 모듈화를 기반으로 시스템 운영 기술을 확보하여 시스템 규모 측면에서는 큰 차이가 존재한다. MW 급 이상 수전해 시스템 개발을 위해서는 스택 자체의 기술 이외에도 전체 시스템을 운영할 수 있는 전통적인 화학공학 설비 기술도 매우 중요하다. 또한 BOP 시설은 가동 및 운동 노하우가 매우 중요하므로, 해당 기술에 대한 시행착오를 통한 장기간 기술 축적이 반드시 필요하다. 해외 수전해 기업들을 보면 시스템 기술에 있어 경험이 충분한 글로벌 기업들이 참여하고 있으나, 국내는 이와 관련하여 매우 미흡한 실정이다⁵⁾.

Table 1. Technology development status of polymer electrolyte membrane electrolysis by country

| Major Companies | | Device Efficiency and Scale | | Remarks |
|-----------------------|---------|-----------------------------|-----------------------|---|
| | | Stack | Integrated System | |
| Siemens Energy | Germany | 0.73 MW | 52.2 kWh/kg (17.5 MW) | GW hydrogen production facility under construction in Berlin H2Future 6.0 MW Demonstration (12 stacks) Used in hydrogen gas turbines after completion in 2023 |
| Cummins (Hydrogenics) | USA | 2.5 MW | 56.5 kWh/kg (20 MW) | Cummins and Air Liquide acquire shares (81%:19%) Construction of 20 MW PEM facility |
| Plug Power | USA | 49.9 kWh/kg (2.5 MW) | 10 MW | Establishment of joint venture (HALO hydrogen) in Incheon with SKE&S Preparing for 2.0 GW scale mass production (Rochester, USA) |
| ITM Power | UK | 2.5 MW | 56.6 kWh/kg (10 MW) | Strategic partnership with Linde for 100 MW development 24 MW ammonia project in 2023 (Linde, Leuna, DE) Mass production of 1.0 GW in 2022 → 5.0 GW in 2024 |
| Nel Hydrogen | Norway | 55.6 kWh/kg (1.25 MW) | 20 MW | Acquired Proton Onsite (USA) in 2019 |
| Elchemtech | Korea | 47.9 kWh/kg (1 MW) | 1 MW | Developed as a project by the Ministry of Trade, Industry and Energy |
| Enapter (AEM) | Italy | 0.0025 MW | 53.3 kWh/kg (modular) | 2.5 kW module stacking Target for mass production of 10,000 units per month in 2023 £ 9,000/unit → £ 2,500/unit (mass production) |

3. 국내외 연구 비교 분석

3.1 국내 연구

Kim과 Lee등¹⁾은 국내 저온 수전해 수소 생산의 경제성 평가 연구를 수행했다. 분석 결과, 알칼라인 수전해, PEM 수전해, 스팀 매탄 개질형 수소충전소 수소가격은 각각 18,403원/kgH₂, 22,945원/kgH₂, 21,412원/kgH₂으로 산정되어, 국내 알칼라인 수전해 수소제조에의 경우 소규모 수소충전소에 경제성을 갖춘 것으로 평가되었고, 중대형 수소충전소를 위한 수소 제조 경제성 평가에 관한 추가 연구 필요성을 시사했다.

Jeong 등⁶⁾은 수전해 방식 수소 제조 안전 성능 평가 기술 개발 연구를 수행했다. 연구자는 수소가 여러 장점에도 불구하고 폭발 범위가 넓고, 폭발화염 전파 속도가 빠른 가연성 가스로, 제조, 저장 및 이송 시 발생 가능한 2차 피해도 최소화해야 하므로, 대체 에너지원으로서의 수소 산업 전반의 이용 안착을 위해 수소 생산, 활용 기기 및 설비에 대한 안전성 확보를 위한 안전 성능 평가 기술 개발과 체계적 안전 관리가 반드시 필요함을 제시했다.

Seo 등⁷⁾은 수전해 수소충전소 부품별 유해 위험요인 분석 연구를 진행했다. 연구자는 순수한 물을 통한 수전해 기술의 경우 가격 및 성능 경쟁에서 우수한 PEM 수분해를 통한 개발이 주를 이루고 있다며, 국내 수소충전소 중 개발 단계인 PEM 수전해 수소충전소의 잠재적 위험을 확인하고 안전한 수소 생산과 충전소 활성화를 도모해야 함을 강조했다. 연구 결과, risk priority number (RPN)가 높게 도출된 시나리오의 경우 수전해 장치의 위험보다는 고압으로 운전되어야 하는 수소 저장 및 충전부 쪽이 더 문제가 되었다. 따라서 타 충전소보다 더욱 엄격한 교육과 훈련 필요성을 규명하였고, RPN이 낮게 산정된 경우라도 심각도가 높은 고장 상태라면 단 한 번의 사건 발생이 심각한 사고로 연결되므로, 안전 의식 및 준수가 더욱 강조되어야 함을 제시했다.

Suh⁴⁾는 수소 생산을 위한 수전해 기반 시스템 연

구를 진행했다. 연구자는 수소를 재생 가능한 에너지원은 물론 재생 불가능한 에너지원 등 다양한 기술로 얻을 수 있으며, 재생 가능한 에너지원으로서의 점진적 전환 필요성 강조가 그린수소 생산 경로를 식별하고 구현하는 노력을 오히려 방해할 수 있다는 새로운 시각을 제시했다. 따라서 연구자는 다양한 생산 기술에 대한 분석과 수전해 유형 간 비교, 분석을 통해 태양광, 풍력을 통한 수소 생산 기술의 현 주소를 강조하고자 했다.

Seo 등⁷⁾은 그린수소 생산을 위한 수전해 기술 개발 동향 연구를 수행했다. 연구자는 국내외 동향 분석 결과로 그린수소의 생산 단가를 낮추기 위한 실무적 전략과 수전해 장치의 가격 저감을 위한 기술적 전략 등을 제시했다. 또한 수전해 산업은 별도의 국내 밸류 체인이 구축되어 있지 않으므로 각 소재, 부품, 관련 산업을 상호 연결할 수 있는 양산성과 공급망 확대 방안이 강구되어야 함을 강조했다.

Kim 등⁸⁾은 수전해 시스템 성능 향상을 위한 능동 이온수송 기술 연구를 수행했다. 연구자들은 알칼리 수 전해질 기반 수소 생산 효율성 증대를 위해 회전 자기장에 따른 이온수송 효과를 분석하고자 했다. 분석 결과, 100 RPM으로 회전할 때는 회전하지 않을 때보다 수소 생산의 효율이 8.06% 증가함을 확인했다. 이에 연구자는 회전자석홀더(rotary magnet holder)의 회전 속도가 증가함에 따라 평균 전위차가 증가하고, 가장 효율적인 특정 수치가 존재함을 시사하였다.

이러한 국내 연구를 정리, 요약하면 Table 2와 같다. 2010년 이후 최근 진행된 수전해 청정수소 관련 국내 주요 연구 분석 결과, 기술 효율성, 안전성, 시스템 등 기술적 측면의 연구가 주를 이루었고, 이외 일부 연구들은 관련 인프라 혹은 기술 동향 분석이 진행되었음을 알 수 있다.

3.2 해외 연구

한편, 주요 해외 연구들을 정리하면 Table 3와 같다. Rashid 등⁹⁾은 에너지 효율성에 중점을 두고 각

수전해 유형들을 비교, 분석했다. 분석 결과, 알칼리 수전해 수소 생산은 높은 유지보수 비용, 타사 대비 낮은 내구성과 안정성, 낮은 효율성을 보였고, 이러한 유형의 단점을 개선, 보완하기 위한 에너지 요구 사항 중심의 실무적 시사점을 제언했다.

Chi와 Yu¹⁰⁾는 수소 생산을 위한 수전해 유형인 알칼리성, PEM 등 공정들에 대해 이온 전달 메커니즘, 작동 특성, 에너지 소비 정도, 산업 출시 제품 등을 비교, 분석하여 차후 새로운 재생에너지 기반 수전해 수소 생산 기술에 관한 전망을 논의했다.

You 등¹¹⁾은 풍력과 천연가스를 조합한 수소 공급 장치의 경제적, 환경적, 사회적 영향을 분석하고자

했다. 이들은 풍력 기반 수소 생산, 천연가스 기반 수소 생산, 통합 수소 생산 옵션으로 구분하였고, 각 유형이 경제, 환경 및 사회적 관점에서 갖는 장단점을 분석하였으며, 수명 주기 관점에서 최적의 수소 공급 시스템을 논의했다.

Burton 등¹²⁾은 현재 재생에너지 기반 수전해 수소 기술은 효율성이 낮아 에너지 운반체로서 재생 가능한 수소 유용성을 제한함을 강조했다. 이에 연구자들은 태양광 동력 수전해 기술의 실태를 분석하고 전기분해 효율성을 증대하기 위해선 물분자 역학에 더욱 주목할 필요가 있음을 제언했다.

Falcone 등¹³⁾은 수소는 재생에너지원을 기반으로

Table 2. Summary of domestic research

| Researcher | Research Type | Research Content |
|------------------------------|-------------------|--|
| Bongjin Kim et al. (2011) | Efficiency | Economic evaluation of domestic low-temperature water electrolysis hydrogen production |
| Youngdae Jeong et al. (2016) | Safety assessment | Development of safety performance evaluation technology for water electrolysis-based hydrogen production |
| Doohyun Seo et al. (2019) | Infra | Analysis of harmful risk factors for each part of water electrolysis hydrogen charging station |
| Dongcheol Seo (2022) | System | Research on water electrolysis-based system for hydrogen production |
| Jongsu Seo et al. (2022) | Trend analysis | Analysis of water electrolysis technology development trends for green hydrogen production |
| Hyunjoong Kim et al. (2023) | System | Research on active ion transport technology to improve water electrolysis system performance |

Table 3. Summary of foreign research

| Researcher | Research Type | Research Content |
|-----------------------|--|---|
| Rashid et al. (2015) | Efficiency | Energy requirements for improving the efficiency of alkaline water electrolysis hydrogen production |
| Chi, Yu (2018) | New technological direction | Establishing the direction of a new type of technology by comparing and analyzing the ion transfer mechanism, operating characteristics, energy consumption, and industrial products for processes such as alkaline and PEM |
| You et al. (2020) | Influence | Proposal of optimal hydrogen supply system considering economic, environmental and social impacts |
| Burton et al. (2021) | Technology trends | Analyze trends in solar-based water electrolysis technology and suggest the importance of water molecular dynamics to maximize efficiency |
| Falcone et al. (2021) | Policy | Present policy direction related to water electrolysis hydrogen that strengthens the relationship between the hydrogen economy and sustainable development goals |
| Pengfei, Chao (2021) | Cooperation between industry, academia and research institutes | Analyzing China's relative strengths and indirectly suggesting the direction of cooperation between industry, academia and research institutes based on this |

하는 저탄소 경제로 다분야 전환을 위한 급부상하는 원동력이나, 수소 기반 경제와 UN의 지속가능한 개발 목표 간 관계성을 체계적으로 연구한 선행연구가 미흡함을 지적했다. 이에 연구자들은 관련 연구 및 관련 정책 중심으로 수소경제와 지속가능한 개발 목표 간 관계의 유기성을 분석하고 차후 정책적 개선 방향을 제안했다.

Pengfei와 Chao¹⁴⁾는 21세기 이후 국내외 에너지 구조가 심화되면서, 수전해를 통한 수소 생산 연구가 각광받고 있음을 강조하였다. 그리고 수소 생산 분야 관련 지표, 예를 들어 논문 발간 규모, 학문적 영향력, 학문적 위상, 국제 협력에 관한 분석 등을 수행하였고, 중국이 갖는 강점을 타 국가들과 비교, 분석하였다. 마지막으로 연구 결과에 기반하여 기술 개발 전략은 물론 이를 규율하는 효과적인 정책, 기업의 투자 의사결정과 학계의 연구 방향 등을 종합적으로 제시하고 산학연 간 협력의 방향성을 간접 시사하였다.

해외 연구들을 보면 국내외 마찬가지로 기술 효율성, 동향 등을 연구했으나, 국내와는 달리 2020년 이후에는 재생에너지 기반 수전해 기술의 경제적, 환경적, 사회적 영향, 수소경제가 지속가능한 발전에 일조하기 위한 정책적 방향 및 산학연 간 협력의 필요성 등에도 주목하고 있음을 알 수 있다.

3.3 시사점

상기에서 검토한 국내외 선행연구 비교, 분석을 기반으로 국내 재생에너지 기반 수전해 생산 기술 발전을 위한 실무적 시사점을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 기술의 안정성 연구에 더욱 주력할 필요가 있다. 해외 연구를 보면, 2020년 전까지는 수전해 수소 생산 유형들 간 안정성과 효율성 연구가 매우 활발히 진행되었다. 그러나 국내 수전해 장치는 다양한 규모와 환경에서 충분한 기간을 두고 실증이 이루어지지 않고 있다. 실증 과제 기간은 평균 3년이며, 3년 차에 수전해 장치가 설치 및 운영된다. 즉, 실제 운영 기간은 1년 정도로 제한되기 때문에 더욱 안정성을 확보할 수 있는 연구가 필요함을 알 수 있다.

둘째, 재생에너지 기반 수전해 수소 생산 기술이 미치는 환경적, 사회적 영향력 고려 연구가 필요하다. 국내의 경우 해당 기술 설치를 위한 부지에 관하여 정부 규제 및 주민의 수용성 문제가 큰 장애가 되고 있다. 따라서 실증 부지 확보를 위해서는 각종 규제를 해결하고, 주변 공사 관련 민원 해결, 생산된 수소의 활용, 주민의 협조, 지자체 협조 방향성 정립 연구가 필요하다.

셋째, 재생에너지 기반 수전해 수소 생산 관련 산학연 간 협력 방향에 대한 연구가 필요하다. 유럽의 성공적인 P2G 프로젝트 산학연 연구 사례를 보면, 대부분 공동 과제를 장기간 수행하여 높은 상호 신뢰를 구축하였고, 각 기관이 자신만의 성과 창출에 몰입하는 대신 공동 목표를 위해 상호 협력하여 시너지를 창출하고 있다.

마지막으로 국내의 경우, 학계에서 개발, 제안한 우수한 소재 혹은 부품이 수전해 장치를 제작하는 과정에 아직 적용 및 활용되지 못하거나 현재 해당 기술 이전이 더더서, 해외 기업과 비교하였을 때 기술 대비 경쟁력 제고에 차질을 빚고 있다. 따라서 수전해 장치 기술이 선진국 수준에 최대한 빨리 도달하려면 무엇보다 학계에서 개발한 우수한 원천 소재 및 부품이 신속히 상용화되어야 한다.

4. 결론

본 연구는 국내 재생에너지 기반 수전해 기술 발전 미흡이 비단 관련 기술의 부족만을 의미하는 것이 아니라 보다 현장감 있는 정책, 수전해 시설 관련 다양한 환경 고려가 미흡하다는 지적에 주목하여 재생에너지 기반 수전해 청정수소 관련 국내외 연구 동향을 분석하고, 수전해 기술 개발과 안정화를 위한 실무적 전략을 제시하고자 했다.

국내 관련 연구 분석 결과, 2015년과 2018년경에는 기술 효율성, 에너지 효율성 차원에서 새로운 기술 방향성 등 기술적 측면에 주력하였고, 이외 일부 연구들은 관련 인프라와 기술 동향 분석 등을 수행하였다. 하지만 해외 연구 분석 결과, 2010년대 중후

반에는 기술, 에너지 효율성 등 기술 안정성에 큰 역점을 두었고, 최근 들어 재생에너지 기반 수전해 기술의 경제적, 환경적 영향, 수소경제가 지속가능한 발전에 일조하기 위한 실효성 있는 정책 방향, 산학연 간 협력 필요성에 주목하였다.

이에 본 연구는 국내의 경우 수전해 장치가 기술 관련 연구 수행 시 안정성에 더욱 주목할 필요가 있으며, 안정성이 확보된 수전해 기술 기반으로 각종 규제 해결과 주민의 협조 방안 마련 등을 순차적으로 해결해 나가야 함을 제시했다. 더 나아가 산학연 관련 연구 결과를 심분 참조하여 학계에서 제안한 기술, 제품 등을 더욱 신속하게 상용화할 수 있도록 해야 한다는 것을 최종 제언했다.

이러한 연구 결과에 기반하여 차후 연구들은 효과적인 수소경제 인프라가 지속가능한 발전을 하기 위한 방안에 주목한다면 본 연구 결과의 완성도를 확장할 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 산업통상자원부 융합기술사업화 확산형 전문인력 양성사업 지원을 받아 작성된 연구입니다.

References

1. J. Kim and T. Lee, "A Study on technological and institutional improvement of electrolyser for the economics of clean hydrogen production", Korea Energy Economics Institute, Ulsan, 2022. Retrieved from https://www.keei.re.kr/web_keei/d_results.nsf/main_all/BF500FDBCA776AA0492589800003D178.
2. D. Hong, "Hydrogen economy is eco-friendly? ... The problem is the method of hydrogen production", Hankyoreh, 2021. Retrieved from https://www.hani.co.kr/arti/economy/economy_general/990633.htm.
3. B. Kim, J. Kim, and H. Ko, "Economic evaluation of domestic low-temperature water electrolysis hydrogen production", Journal of Hydrogen and New Energy, Vol. 22, No. 4, 2011, pp. 559-567. Retrieved from <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=JAKO201118552488297&cn=JAKO201118552488297&dbt=JAKO&journal=NJOU00294708>.
4. D. Suh, "A study on water electrolysis-based system for hydrogen production: part I", Journal of Engineering and Technology Research, Vol. 41, No. 2, 2023, pp. 23-32. Retrieved from <https://ebook.kyobobook.co.kr/dig/pnd/scholardatail/product?cmdtcode=4010037127021>.
5. J. S. Seo, S. C. Lee, C. S. Lee, J. H. Lee, M. J. Kim, Y. W. Choi, and H. S. Cho, "Trends in the development of water electrolysis technology for green hydrogen production", News & Information for Chemical Engineers, Vol. 40, No. 3, 2022, pp. 254-270. Retrieved from <https://www.cheric.org/PDF/NICE/NI40/NI40-3-0254.pdf>.
6. Y. Jeong, T. Nam, J. Lee, G. Lyu, and Y. Lee, "Evaluation technology development of safety performance for hydrogen production by water electrolysis", Proceedings of the Korean Society for New and Renewable Energy Spring Conference, 2016, pp. 122. Retrieved from <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06691451>.
7. D. H. Seo, K. W. Rhie, and T. H. Kim, "A study on the analysis of hazardous risk factors for component in hydrogen station with water electrolysis device", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 23, No. 6, 2019, pp. 33-38, doi: <https://doi.org/10.7842/kigas.2019.23.6.33>.
8. H. J. Kim, H. Guo, and S. Y. Kim, "A Study on active ion transport technology to improve water electrolysis system performance", Journal of Hydrogen and New Energy, Vol. 34, No. 2, 2023, pp. 132-140, doi: <https://doi.org/10.7316/JHN E.2023.34.2.132>.
9. M. M. Rashid, M. K. Al Mesfer, H. Naseem, and M. Danish, "Hydrogen production by water electrolysis: a review of alkaline water electrolysis, PEM water electrolysis and high temperature water electrolysis", International Journal of Engineering and Advanced Technology, Vol. 4, No. 3, 2015, pp. 80-93. Retrieved from <https://www.ijeat.org/portfolio-item/C3749024315/>.
10. J. Chi and H. Yu, "Water electrolysis based on renewable energy for hydrogen production" Chinese Journal of Catalysis, Vol. 39, No. 3, 2018, pp. 390-394, doi: [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(17\)62949-8](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(17)62949-8).
11. C. You, H. Kwon, and J. Kim, "Economic, environmental, and social impacts of the hydrogen supply system combining wind power and natural gas", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 45, No. 46, 2020, pp. 24159-24173, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.095>.
12. N. A. Burton, R. V. Padilla, A. Rose, and H. Habibullah, "Increasing the efficiency of hydrogen production from solar powered water electrolysis", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 135, 2021, pp. 110255, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110255>.
13. P. M. Falcone, M. Hiete, and A. Sapio, "Hydrogen economy and sustainable development goals: Review and policy insi-

ghts”, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, Vol. 31, 2021, pp. 100506, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100506>.

14. F. Pengfei and Z. Chao, “International trends analysis for su-

bject of hydrogen production with water electrolysis”, *E3S Web of Conferences*, Vol. 245, 2021, pp. 1-6, doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124501014>.