



국외 PEM 수전해시스템 도입 및 제주도 재생에너지 연계 실증방안

[†]장상엽 · 김재동 · 김동민 · 박진모 · 소영석

한국가스공사 가스연구원 수소기술연구소

(2022년 11월 10일 접수, 2022년 1월 5일 수정, 2023년 1월 6일 채택)

Introductions for Foreign PEM Systems and It's Field Test Plan Linked to Renewable Energy in Jeju Island

[†]Sangyup Jang · Jaedong Kim · Dongmin Kim · Jinmo Park · Youngseuk So

Hydrogen technology research center, Gas research institute, KOGAS, Ansan 15328, Korea

(Received November 10, 2022; Revised January 5, 2023; Accepted January 6, 2023)

요약

기후변화 문제를 해결하기 위한 각국의 노력은 계속되고 있고, 친환경 연료로의 전환은 지속적으로 진행해야 할 인류의 과제이다. 국내에서는 최근 재생에너지자원이 비교적 풍부한 제주도에서 재생에너지와 연계한 그린수소를 생산하는 기술을 실증하기 위하여 준비 중이며, 본 연구에서는 국내외 기술현황을 파악 후 해외선진기업의 고분자 전해질 수전해 장치를 도입하여 적용하는 것을 목표로 하고 있다. 본 연구를 진행하면서 국외에서 제작되는 수전해 장치에 대하여 국내안전규제에 부합한 시스템 도입과정과 핵심부품의 평가방법을 소개하고자 한다.

Abstract - Efforts by each country to solve the climate change problem continue, and the transition to eco-friendly fuels is a task for mankind to continue. Recently, Jeju Island, where renewable energy resources are relatively abundant, is preparing to demonstrate the technology to produce green hydrogen linked to renewable energy and this study aims to introduce and apply polymer electrolyte water electrolysis devices of advanced foreign companies after comparing domestic and foreign technologies. This study aims to solve domestic safety regulations for water electrolysis devices manufactured overseas and system introduction process and evaluation method of core components.

Key words : green hydrogen, PEM, renewable energy, electrolyte, curtailment, evaluation

I. 서론

화석에너지의 사용을 줄이고 청정에너지로 에너지 전환을 점진적으로 추진하는 것은 전 세계적인 추세이다. 최근 우크라이나와 러시아간의 전쟁으로 인하여 서방 제재에 대한 러시아의 자원무기화 전략과 이를 극복하기 위한 유럽국가들의 노력은 이러한 에너지 전환을 더욱 가속화 시키고 있다.

국내에서도 재생에너지의 보급을 위해 정부 및 산하기관에서 많은 지원을 해오고 있다. 그러나 제주도

등 일부 지역에서 재생에너지를 활용한 발전사업에 참여하고 있으나, 오히려 계통의 안정성문제로 발전 출력제한 조치를 시행해오고 있다. 재생에너지 발전 비중이 가장 높은 지역인 제주도는 2020년 기준 재생에너지 발전량 비중이 16%수준이며[1] 이미 풍력발전 출력제한 횟수가 연간 77회를 초과하고 있다[2-3]. 또한 2030년에는 현재의 재생에너지 보급시나리오를 적용하면 재생에너지 보급이 30%를 넘어서게 되고, 재생에너지의 발전이 활발한 일부 시간대에는 제주도의 전력수요 상당부분을 재생에너지로 보급하여도 전력이 남는 상황이 발생할 수도 있다. 이러한 상황에서, 발전출력 제한조치로부터 비롯된 잉여전력을 활용한 수소생산기술을 확보하는 P2G(power to gas)기

[†]Corresponding author:jsy@kogas.or.kr

Copyright © 2023 by The Korean Institute of Gas

술은 재생에너지의 미이용분을 대용량으로 전환할 수 있는 장점이 있다[4-8].

본 논문에서는 제주도 행원지역에서 진행되고 있는 풍력에너지를 연계한 수소제조 실증사업과 국외 고분자수전해장치의 도입과정 및 수전해셀과 스택의 평가시스템을 소개하고자 한다.

II. 국내외 고분자 전해질막 수전해 시스템 개발 동향

수전해 시스템은 여러 방식이 있으나 고분자 전해질막(protone exchange membrane, PEM) 수전해장치는 상대적으로 넓은 전류범위와 높은 전류밀도에서 운영이 가능하며 on-site 방식의 수소 충전소에 적용하면 알칼라인 수전해에 비해 상대적으로 높은 효율을 기대할 수 있다.

고분자전해질막 수전해장치는 고분자전해질막인 나피온(Nafion)을 적용하며 전극은 백금(Pt, platinum)과 이리듐(Ir, iridium)을 사용한다. 운전온도는 25~80℃ 범위에서 운영하고 빠른 운전대응속도를 가지므로 재생에너지를 이용하여 수소를 생산하기 위한 차세대 기술로 주목을 받고 있다. 재생에너지 발전시스템은 날씨와 같은 외부 환경에 따라 생산하는 전기에너지가 급변하는 특징이 있어 순간적인 전류밀도의 변화가 크므로 수전해시스템의 부하대응성을 높이기 위해서 시스템 전류밀도의 운영범위가 넓은 사양이 유리하다.[9-10].

PEM 수전해 분야의 주요 과제 중 하나는 생산 비용을 절감하고 높은 효율성을 유지하는 것이다. Table 1과 같이 국내 기업은 수소법에 의해 10 bar 이하의 압

력으로 수소생산이 가능하도록 시스템을 개발하고 있으나, 국외시스템은 30~45 bar압력으로 생산하여 시스템 효율과 성능을 향상시키는 방향으로 개발되고 있다. 국외사에서도 초기 개발시에는 저압수소생산방식으로 기술을 개발하였으나 스택과 장치의 효율향상을 위해 고압으로 수소를 생산하는 방식을 채택하고 있다. 따라서 국내기업의 개발방향과 규제방향도 고압수전해 시스템을 염두에 두고 발전시켜 나가는 것이 필요하다.

III. 해외 수전해 시스템도입 및 국내기준 검토

수전해 설비를 해외에서 국내로 도입하기 위해서는 수소법 및 고압가스안전관리법에 따라 스택의 내압검사를 받아야 하고, 스택은 일반적인 압력용기인 구형, 실린더형, 타원형 등에 해당하지 않아 한국산업표준 KS B6759를 따르게 된다.

수소법은 수소경제 이행 촉진을 위한 것이며 수소 연료전지 및 수소용품은 수소법에 따라 공장검사를 거쳐 제품설계/제작/검사되어야 한다. 특히 수전해 장비는 한국가스안전공사(KGS) 가스기술기준 ‘수전해 설비 제조의 시설, 기술, 검사기준(KGS AH271)’을 준수하여야 하며 제조시설에 대한 평가와 제조품에 대한 평가과정이 뒤따른다.

미국 및 유럽에서는 수전해 시스템이 대부분 10 bar 이상으로 제작 및 운영되고 있으며 수전해 국제표준인 ISO 22734-1에 의하여 제작되고 있다[11]. 스택은 PED2014/68/EU에 의거하여 1.5배 내압테스트를 실시하고 3자국제공인 인증을 통해 검증한다[12].

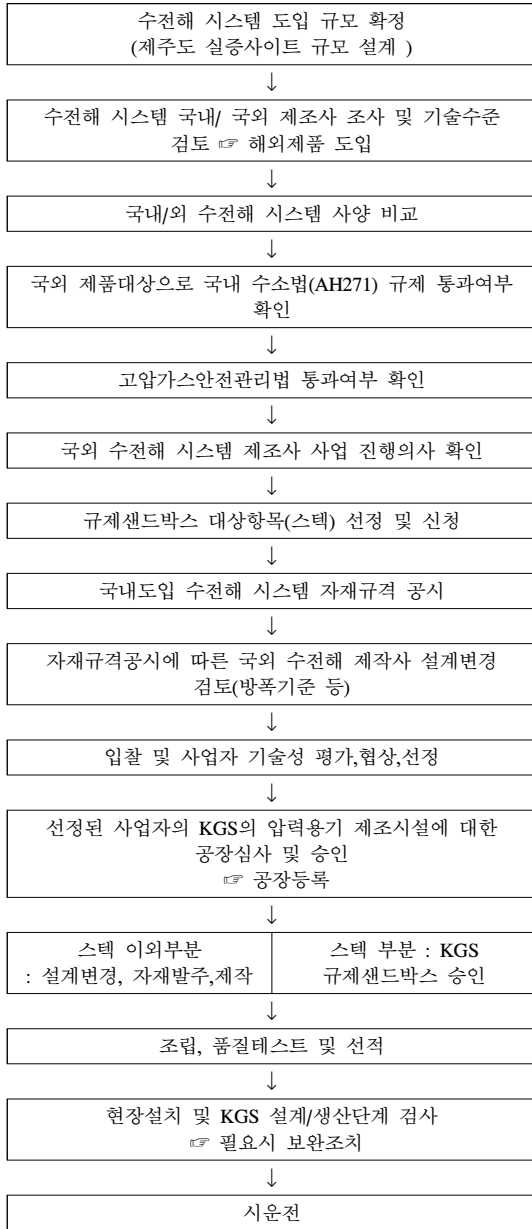
PEM 수전해 시스템에서 Water/Gas separator, Deoxidizer, Dryer품목이 압력용기에 해당된다. 특히 수전해 시스템의 핵심부품이라고 할 수 있는 스택의 경우는 특수형상 압력용기로 분류되어 운영압력의 4배의 파열시험을 통과하여야 한다. 그러나 스택은 수전해 시스템의 가장 고가의 핵심부품이며 이를 파열테스트 하는 것은 상당한 비용이 소요되므로 산업융합촉진법 제 11조의 3(실증을 위한 규제특례 신청 등)에 의거 규제샌드박스를 통해 조건부 승인을 통과하면 국내도입이 가능하다. 본 연구를 진행하면서 국내에서 최초로 국외 수전해 제작사의 제품을 도입하기 위해 아래 Table 2와 같은 과정을 거치고 있으며 위에 언급한 규제 등을 고려하여 도입하고 있다.

조건부 승인의 유형에는 파열테스트 또는 시물레이션 결과 등 기술적인 분석결과를 제작사가 제출하고 그 결과를 KGS 주관의 안전규제위원회의 승인을 받으면 규제를 만족하는 것으로 간주되어 국내도입이 가능하다.

Table 1. Comparison of domestic/foreign PEM water electrolysis systems

구분	국내	해외
생산압력	10 bar	30~45bar
기술수준	선진기술대비 50 ~ 70 % 수준 (실증과제진행 중)	성장 및 경쟁단계
생산용량	MW 규모	MW 규모
대표기업	엘캠텍	Siemens(독일) Plug power(미국) ITM power(영국) Elogen(프랑스) Man(독일) Hydrogenics(캐나다)

Table 2. Procedure for the introduction of PEM water electrolysis system in Korea



IV. 재생에너지 연계 방안

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 Plug-power사의 수전해 장치를 해외로부터 도입하여 배터리저장시스템,

Table 3. Current status of wind power output restriction in Jeju area [2]

연도	출력제한 (회)	출력제한량 (MWh)	비율 (풍력발전량 대비)
2015	3	152	0.04%
2016	6	252	0.05%
2017	16	1,301	0.24%
2018	17	1,366	0.25%
2019	46	9,223	1.66%
2020	77	19,449	4.43%



Fig. 1. Plug-power’s water electrolysis system to be introduced in Korea [13]

수소저장시스템과 함께 제주에너지공사 주관으로 실증하는 사업을 진행하고 있다.

장비 설치 이후에는 실증단계의 미활용 전력을 이용하여 수소생산 운영기술을 확보하고자 한다. 제주 지역은 국내에서 풍력자원이 가장 풍부한 지역이며, 아래 Table 3과 같이 재생에너지의 출력제한이 적용되는 지역이다.

출력제한을 해소하기 위한 방안으로는 육상으로의 송전, 에너지저장 등의 방법이 있으나 이를 수소로 전환시키는 방법이 본 프로젝트에서 실증되고 있는 방법이다. 수전해 시스템의 가격 경쟁력을 확보하기 위해서는 미활용 전력을 이용하는 것이 관건이므로 제주 전력시장의 플러스DR(demand response)과 같은 전력시장의 수요반응제도 또는 출력제어방식의 개선 등이 필요하나 현재 제주도내 전력시장에서 플러스 DR을 이용한 전력구매가 어렵기 때문에 전력공급방식과 전력거래방법은 1MW 수전해시스템 도입이후에 수소생산 실증을 진행하면서 보조금을 비롯하여 경제적인 그린수소 생산방안을 모색하는 것이 필요하다.



Fig. 2. Evaluation device of water electrolysis cell & stack

V. 수전해 성능평가장치 도입

재생에너지 연계에 따른 수전해 부품의 내구성능 저하가 정격운전에 대한 성능저하에 비해 빨리 나타나면 수소제조를 위한 장치운영사의 입장에서는 유지관리에 더 많은 경비와 노력이 소요된다. 한국가스공사를 비롯하여 수소를 생산하고 유통하기 위한 기관들은 수소생산설비의 장기운영방안에 대한 대책이 필수적이라고 볼 수 있다.

국내에서는 수전해 장치에 대한 장기운영경험이 전무하므로 핵심부품인 수전해셀과 수전해 스택의 성능에 대한 연구가 필요하다. 셀은 스택을 구성하기 위한 개별 단위요소이며, 여러 장의 셀을 적층하여 스택을 구성하게 된다. 본 과제에서는 수전해 셀의 성능을 평가하기 위한 평가장치를 아래 Fig. 2와 같이 구성하였다. 평가장치를 통해 전기화학관련 특성과 성능저하 등 정량적인 성능평가가 가능하도록 하였다. 본 연구를 통해 구성된 평가장치는 초순수의 물(5~10 μS/cm)을 공급하면서 100A용량의 전기를 전극에 부가할 수 있다. 정적인 전기부하에 비해 부하의 변화를 주는 가속시험(acceleration stress test, AST)을 수행하면서 짧은 시간에 수전해 셀의 내구성을 확인하고자 하였으며 이러한 데이터를 기반으로 정상적인 운영조건에서의 수명예측 및 상관관계도 파악할 수 있다.

5cm×5cm 크기의 셀을 시간에 따른 저전류/고전류 사이클을 이용한 시험이 Fig. 3과 같이 진행 중이며 수전해셀의 저항이 증가하는 현상이 Fig. 4와 같이 나타났다. 80시간 변동부하를 인가한 수전해셀에서 초기 상태 대비 2%이상의 성능저하 현상이 발생하는 것을 파악할 수 있었다. 이러한 변동부하에서의 전류밀도 변화는 수전해 셀의 수명에 영향을 줄 수 있음을 간접적으로 파악할 수 있으며 후속 연구데이터가 진행되면

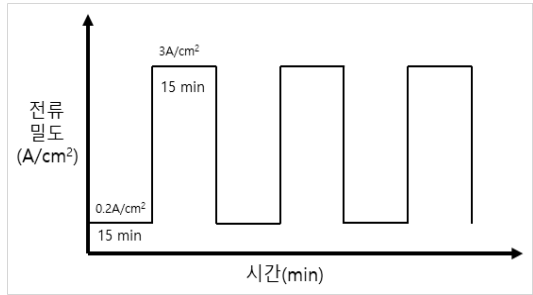


Fig. 3. Current waveform applied to the water electrolysis evaluation device.

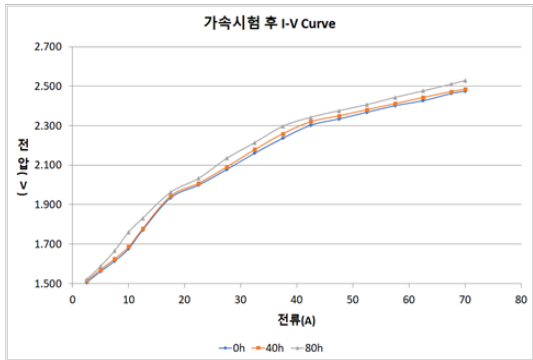


Fig. 4. I-V Results of 0, 40, 80 hours of continuous accelerated cells.

정량적인 평가가 가능할 것으로 판단된다. 장시간의 가속시험뿐만 아니라 향후 단순한 패턴뿐만 아니라 풍력 및 태양광의 전기패턴을 인가하여 PEM 수전해 중요부품의 부하대응성, 내구성을 검토할 필요가 있다.

VI. 결론

본 연구에서는 국외 수전해 시스템을 이용하여 재생에너지 연계 그린수소 생산기술을 실증하기 위하여, 제정된 수소법과 고압가스 안전관리법을 준수하면서 해외제작사인 Plug-power사의 제품을 도입하고 있다. 특히 국내에서는 수소관련 사고로 인한 인명과 재산을 보호하기 위해 수소를 취급하는 장치에 대한 안전규제가 강화되어, 국외제품을 도입하는 과정에서 많은 규제와 검사규정을 해결하여야 한다.

수소관련 제품은 안전을 확보하고자 하면 너무 과도한 규제가 기업의 발목을 잡고, 기업의 편의를 고려하면 안전이 취약해지는 양면성이 있다. 안전을 포기하면서 편의성을 높일 수도 없는 정부의 입장을 이해

하지만 수소분야의 기술발전 및 인프라 확산을 위해서는 기술적인 부분에서 국내보다 앞서 검증된 해외 사례를 인정하고 이를 합리적으로 평가하여 우리의 기준으로 가져오는 노력은 반드시 필요하다.

수소 관련 장비를 도입/운영하기 위해서는 수소제조품의 안전관련 심사결과에 따라 도입 일정이 변경될 가능성이 매우 높으므로 안전규제와 공장/제품심사를 관리하는 규제기관과의 협력과 조율이 필수적이며, 시간적인 변수를 염두에 두고 도입하는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 그린수소생산 및 저장시스템 기술개발(과제번호: 20208801010010)사업으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] Jeju report, Carbon Free Island 2030, (2019)
- [2] Korea Power Exchange (KPX), Electric Power Statistics Information System, (2021)
- [3] Jeon, W.Y., Kim, J.Y., Lee, S.W., “Establishing an efficient low-carbon power system by reducing curtailment of renewable energy using ESS”, *Journal of Climate Change Research*, 13(1), 1-9, (2022)
- [4] J. Gorre, F. Ruoss, H. Karjunen, J. Schaffert, and T. Tynjälä, Cost benefits of optimizing hydrogen storage and methanation capacities for Power-to-Gas plants in dynamic operation, *Appl. Energy.*, 257, 113967, (2020).
- [5] H. Blanco, and A. Faaij, “A review at the role of storage in energy systems with a focus on Power to Gas and long-term storage”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 81, 1049-1086 (2018).
- [6] FCH JU, Commercialization of energy storage in Europe, Final report, (2015).
- [7] Buttler, A., Spliethoff, H., “Current status of water electrolysis for energy storage, grid balancing and sector coupling via power-to-gas and power-to-liquids: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2440, (2018).
- [8] Park J.H., Kim C.H., Cho H.S., Kim S.K., and Cho W.C., “Techno-economic analysis of green hydrogen production system based on renewable energy sources”, *Trans. of Korean Hydrogen and New Energy Society*, 31(4), 337~344, (2020)
- [9] Lee J.Y., Yi Y.M., and Uhm S.H., “Understanding underlying processed of water electrolysis”, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, 19(4), 357-365, (2008)
- [10] Seo D.H., Rhie K.W., and Kim T.H., “A study on the analysis of hazardous risk factors for component in hydrogen station with water elelctolysis device”, *J. of Korea Institute of Gas*, 23(6), 33-36, (2019)
- [11] ISO 22734, Hydrogen generators using water electrolysis, (2019)
- [12] PED 2014-68-EU, (2014)
- [13] Plug-power electrolyzer spec sheet, <https://plug-power.com>, (2022)