차세대 그린수소 생산기술, AEM

KDB미래전략연구소 산업기술리서치센터
이 선 화 (sunhwa@kdb.co.kr)

◆ 재생에너지로 생산한 전기를 이용해 물을 분해하여 생산하는 그린수소의 중요성이 증대되면서, 알칼라인·PEM·AEM·SOEC 등 수전해 기술에 대한 관심도 확대

◆ AEM(음이온 교환막) 기술은 상용기술인 알칼라인과 PEM의 단점을 개선하기 위해 개발 중인 차세대 수전해 기술로서 그린수소 시장 선점을 위한 기술 확보 및 사업화 필요

□ 탄소중립과 수소경제 전환을 위한 그린수소의 중요성이 커지면서 수전해를 통한 수소 생산기술에 관심 증대

○ 수소는 원료와 생산방식에 따라 그레이·블루·그린수소로 구분*되며, 재생에너지 생산 전력으로 수전해**를 통해 생산되는 **그린수소**가 **가장 친환경적**인 수소

* 블루수소와 그린수소를 청정수소(Clean Hydrogen)로도 분류

** 물(H_2O)의 이온화(H^+, O^{2-})에 활용되는 전해질(물 등의 용매에 녹아 이온으로 해리되어 전류를 흐르게 하는 물질)에 전력을 공급하여 물을 수소(H_2)와 산소(O_2)로 분해하는 기술

- 그레이수소는 천연가스의 개질*이나 석탄을 가스화하는 방식으로 생산되며, 블루수소는 그레이수소와 동일 방식으로 생산되지만 생산 과정에서 발생하는 CO_2를 포집 및 활용·저장(CCUS**)해 온실가스 배출을 최소화하여 생산

* 탄화수소(탄소와 수소로 이루어진 화합물)의 질을 개선하기 위해 구조를 변화시키는 과정으로 사슬모양의 탄화수소를 고리모양으로 만드는 과정을 말하기도 하며, 이때 수소가 생산됨

** Carbon Capture Utilization and Storage

- **그린수소**는 태양광·풍력 등 **재생에너지**로 **생산**한 **전기**를 이용해 물을 **전기분해(수전해)**하여 생산함으로써 온실가스 배출이 없는 친환경적인 수소

수소 생산방식

구 분		생산방식	CO_2 배출량	생산비용	기타
그레이수소		천연가스(메탄), 석탄 등을 고온·고압에서 분해	매우 높음	저렴 (U$1~U$2.2/kg)	생산기술 성숙으로 상용화 용이
청정수소	블루수소	그레이수소 생산+CCUS	낮음	높음 (U$1.5~U$3/kg)	CCUS 비용 추가, 지중/해양 등 CO_2 저장공간 필요
청정수소	**그린수소**	**재생에너지 활용 수전해**	-	**높음 (U$3~U$7.2/kg)**	**고가의 전력비용 및 재생에너지 인프라**

자료 : World Energy Council, IEA, 한전경영연구원 등을 참고하여 재정리

- 현재 생산 중인 수소의 대부분은 생산비용*이 가장 저렴한 그레이수소지만, 탄소중립을 위해 **그린수소 생산**량이 점차 **증가**할 전망

* 수소 생산비용('19, IEA) : 그레이 U$1~U$2.2/kg, 블루 U$1.5~U$3/kg, 그린 U$3~U$7.2/kg

○ **수전해 기술***은 전해질의 종류에 따라 **알칼라인**, 고분자 전해질막**(PEM), 음이온 교환막(AEM), 고체산화물(SOEC) 수전해로 구분되며, 기술개발 단계를 기준으로 상용기술(알칼라인·PEM)과 차세대 기술(AEM·SOEC)로 분류

* 알칼라인(Alkaline Electrolysis), PEM(Polymer Electrolyte Membrane Electrolysis), AEM(Anion Exchange Membrane Electrolysis), SOEC(Solid Oxide Electrolysis Cell)

** 양·음극 전극을 분리하여 이온의 전극간 이동을 가능하게 하면서 생성 기체는 분리해주는 다공성 필름

- **산업용 수소 생산**에 활용되고 있는 **알칼라인***과 **PEM**** 수전해 기술은 재생에너지 설비와의 연계를 위해서는 기술적 진보가 필요

* 알칼리 용액을 전해질로 사용하는 알칼라인 수전해 기술은 내구성이 좋고 설비 가격이 낮으나 타기술 대비 부피가 크고 불규칙한 출력 특성의 재생에너지 전력 연계시 생산 수소의 순도가 낮아지고 내구성 및 효율이 저하되는 문제 발생

** 양이온 고분자 전해질막을 이용한 기술로 사용하는 전력의 부하 변동 대응(빠른 반응속도)으로 재생에너지 전력 연계에 적합하나, 전극으로 귀금속을 사용하여 설비 가격이 높음

- **차세대 수전해 기술**은 기존 상용기술의 한계인 낮은 전류밀도(알칼라인)와 고가의 설비비(PEM)를 극복하기 위해 개발되고 있는 기술로 **AEM***과 **SOEC****가 있음

* 음이온 고분자 전해질막을 이용하는 수전해 기술로, 저렴한 소재 사용 및 소형화가 가능해 경제적이며 불규칙한 재생에너지 전력의 부하 변동 대응도 가능

** 세라믹 등의 이온전도성 고체산화물 전해질을 이용해 700℃ 이상의 고온 수증기를 전기분해하는 기술로 에너지 효율이 높으나 시동시간이 길고 고온의 작동환경 조성을 위한 추가 열원 필요

수전해 기술 비교

구 분	알칼라인	PEM (고분자 전해질막)	AEM (음이온 교환막)	SOEC (고체산화물)
전해질[1]	알칼리용액	양이온 교환막	**음이온 교환막**	이온전도성 고체산화물
사용전극(촉매)	Ni(니켈)/Fe(철)	Pt(백금), Ir(이리듐)	**Ni 기본 금속촉매**	Ni 도핑 세라믹
작동온도(℃)	70~90	50~80	**40~60**	700~850
작동압력(bar)	< 30	< 70	**< 35**	< 10
전류밀도(A/cm^2)[2]	0.2~0.8	1~2	**0.2~2**	0.3~1
설비효율(kWh/kg)[3]	50~78	50~83	**57~69**	45~55
수명(h)	60,000	50,000~80,000	**> 5,000**	< 20,000
스택 단위(kW)	1,000	1,000	**2.5**	5
스택 비용(U$/kW)	270	400	**-**	> 2,000
설비 비용(U$/kW)	500~1,000	700~1,400	**-**	-
기술개발 정도	상용기술	상용기술	**연구개발**	연구개발

주 : 1) 물 등의 용매에 녹아 이온으로 해리되어 전류를 흐르게 하는 물질
2) 단위면적을 통해 흐르는 전류의 양으로, 전류밀도 높을수록 수소 생산율 높음
3) 1kg의 수소 생산에 필요한 전력량으로 낮을수록 높은 효율의 수전해 기술을 의미

자료 : IRENA, 한국가스공사 등을 참고하여 재정리

□ **AEM 기술*은 알칼라인과 PEM이 재생에너지 설비와 연계할 때 발생하는 문제들을 개선하기 위해 개발 중인 차세대 수전해 기술로서 상용화를 위해서는 기술개발 필요**

* 산업통상자원부는 「'21년 하반기 수소·연료전지 분야 R&D 사업 공고」를 통해 차세대 수전해 기술 중 AEM 기술 확보에 중점 지원(총 9개 과제 중 2개, 총 사업비 720억원 중 165억원 지원)계획 발표('21.9.8 보도자료)

○ **AEM**은 알칼라인의 알칼리성* 작동환경과 고분자 전해질막을 사용하는 PEM의 구조를 혼합한 기술

* 용액의 H^+ 농도 지수를 나타내는 pH의 pH7(중성)을 기준으로 pH7보다 낮으면 산성(H^+농도 높음), 높으면 알칼리성(H^+ 농도 낮음, OH^-농도 높음)을 나타냄

- 귀금속 소재를 사용하지 않아 **경제적**이면서도 불규칙한 재생에너지의 출력 특성에 **빠른 반응**이 가능하여 **그린수소 생산 최적화 기술**로 부상 중

○ 유럽과 일본 기업들을 중심으로 AEM 수전해 기술의 상용화가 시도되고 있으나 아직 세계적으로 **성공**한 **기업**이 **부재**하여 **국내기업**이 선도적으로 **기술 확보** 및 **사업화**시 세계 수전해 **시장**을 **선점**할 수 있을 것으로 기대

- 일본 Tokuyama Corporation, 독일 Fumatech, Solvay 등에서 음이온 교환막 상용제품을 제작했으나 양이온 교환막 대비 내구성 등에서 열위해 수전해 설비에 적용되지 못하고 보완 기술을 개발 중
- 이탈리아 Acta SpA는 AEM Pilot 수전해 설비(0.09kg/h)를 개발했으며, Enapter의 경우 '22년에 MW급* AEM 설비를 출시할 예정

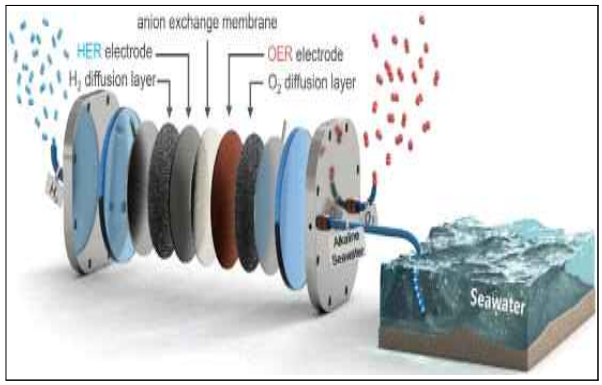
* 일반적으로 수전해 설비 단위는 시간당 사용하는 전력 단위(W, 와트)로 표현되며, 설비를 통해 생산되는 수소량(질량(kg/h) or 부피(m^3/h))으로도 수전해 설비의 단위나 규모를 나타냄

○ 국내에서는 한화솔루션이 '23년 상용화를 목표로 AEM 연구개발을 진행하고 있으며, 대학·연구소에서 AEM 수전해에 관한 다양한 요소기술을 연구 중

한화솔루션 AEM 싱글셀

자료 : 월간수소경제

한국재료연구원 해수 AEM 기술



자료 : 한국재료연구원

국내 대학·연구소 음이온 교환막 수전해 기술개발 동향

기관명	주요 연구 내용
한국재료연구원	고성능 음이온 교환막 해수 수전해 기술개발
한국기계연구원	음이온 교환막 수전해 시스템용 비귀금속 촉매 및 스택 기술개발
한국과학기술연구원	음이온 교환막 수전해 촉매 및 전극, 시스템 개발
한국에너지기술연구원	음이온 교환막 및 수전해 시스템 개발
광주과학기술원	귀금속 촉매 저감 기술개발
포항공과대학	음이온 교환막 개발
경일대학교	Ni(니켈)와 NiFe(니켈철) 수소 발생 전극 촉매 개발

자료 : 국가과학기술연구회, 언론 등을 참고하여 재정리