

# 대한민국은 그린수소로 에너지 수출국이 될 수 있다.



**김진관**

에이치쓰리코리아(주) 대표이사  
kjkwater@naver.com



**안재현**

서경대학교 토목건축공학과 교수  
wrr21@naver.com

## 1. 서론

최근 우크라이나 전쟁 등의 이유로 국제 원자재 가격이 급등하고 있으며, 석유를 비롯한 에너지 가격의 상승은 우리나라 경제에 큰 충격을 주고 있다. 문재인 정부에서 탈원전과 신재생에너지 확대를 주요 정책으로 추진하면서 국내 에너지 공급체계에 많은 변화가 있었으며, 이로 인해 지금의 상황은 과거와는 다른 느낌의 충격으로 다가오고 있다. 특히 국가 경제에 필요한 에너지의 거의 대부분을 수입해야 하는 우리나라의 여건은 이러한 상황에 대한 대책 수립에 큰 어려움을 주고 있다.

우리나라는 에너지 수출국이 될 수 없을까? 이제는 단순히 에너지의 수출입만이 중요하지 않고, 기후변화로 인한 탄소중립 문제까지 해결할 수 있는 방안이 함께 해야만 실질적인 효과가 나타날 수 있다. 필자들

은 한국수자원학회의 학회지 “물과 미래”에 2차례에 걸쳐 그린수소 및 탄소중립 물관리에 대한 기사를 기고한 바 있다.

2021년 9월호에 게재된 ‘수소에너지, 우리가 선도해야 할 수자원(안재현 등, 2021)’에서는 수소의 생산방식과 수소경제에 대해 설명하고, 그린수소와 수력 등의 연계를 통한 수자원의 클린 에너지 생산에 대해 시사점을 제시하였다.

2022년 3월호에 게재된 ‘기후변화와 탄소중립 물관리(이정원 등, 2022)’에서는 탄소중립이라는 국가적 정책추진에 있어 물관리의 역할을 살펴보고, 물관리 전과정의 탄소저감 방안과 신재생에너지의 확대방안에 대한 언급하였다. 특히 수소가 친환경 에너지로서 탄소중립 실현에 중추적 역할을 하기 위해서는 현재 그레이수소(개질수소) 중심의 수소 생산방식에서 수전해를 이용한 그린수소 생산방식에서의 전환이 매우

중요함을 강조한 바 있다.

위의 글들은 결국 기존의 에너지 생산체계를 뛰어넘는 수단으로 수소의 중요성과 수력 등을 활용한 그린수소의 생산은 우리나라의 입장을 에너지 수입국에서 수출국으로 바꿀 수 있음을 설명한 내용이었다. 지금까지는 에너지(석탄, 석유 등)의 매장량에 따라 에너지 패권국가가 결정되었다. 그러나 앞으로는 매장량이 아닌 기술이 에너지 패권 국가를 결정하게 된다. 그림 1에서는 이를 도식적으로 정리하여 나타냈다.

그림 1에서 의미하는 것은 명확하다. 탄소중립이 필요한 국가의 에너지 미래에서 전기에너지는 국내 수요를 충족하는 역할만이 가능하지만 수소에너지는 국내 활용뿐만 아니라 해외 수출까지 가능할 수 있다. 물론 여기에는 원전 등을 통한 저렴한 전력의 공급과 낮은 단가의 수전해 기술이 필수적이다.

표 1에서는 재생에너지의 한계와 그린수소의 장점에 대해 설명하였다. 신재생에너지는 지역별, 시기별

편차가 존재하는 한계가 있다. 따라서 신재생에너지로 불규칙하게 생산된 전기는 에너지의 저장과 이동에 가장 적합한 수소로 전환되어 저장하게 된다. 특히 수소는 장기간, 대용량의 저장에 용이하고 국가 간 이동과 같은 장거리 운송에 적합하다. 따라서 수전해를 통해 생산된 그린수소를 저장해서 국가 간 에너지 운송을 할 수 있다면 가장 효율적인 에너지 이동 체계를 구축하는 것이다.

## 2. 본론

### 2.1 수소 경제

미래 에너지 시장에서 수소가 중심이 될 것이라는 전망이 잇따르고 있다. 여기에 탄소중립이라는 가치와 이를 만회할 경제성 확보 측면의 중요성도 강조되고 있다.

국제에너지기구(IEA, International Energy Agen-

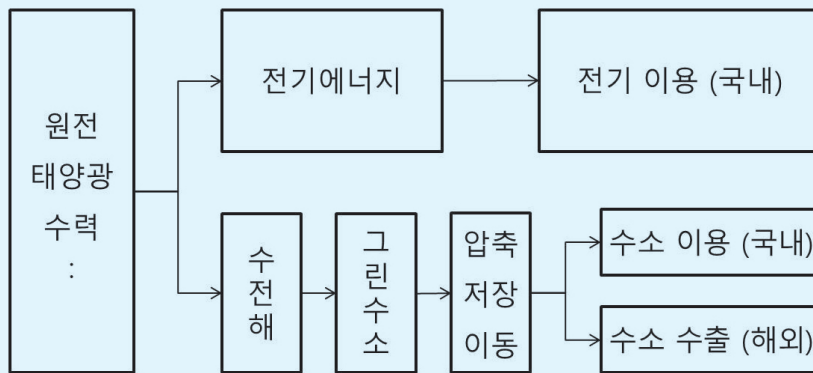


그림 1. 원전, 신재생에너지를 이용한 전기, 수소 생산 및 이용 체계

표 1. 그린수소를 통한 에너지 이동

재생에너지 수요/공급 조율	대용량 에너지 저장	국가간 장거리 운송
신재생에너지는 지역별, 시기별 편차 존재 → 수소 변환을 통해 신재생에너지의 활용성 제고	수소는 장기간(1년 이상), 대용량(1TWh 이상) 에너지 저장에 적합	수소는 장거리 이동 시 에너지 손실이 적어 국가 간 운송에 적합

cy)의 분석에 따르면 현재 생산원별 수소생산비용은 그레이수소 1~2.2달러/kgH<sub>2</sub>, 블루수소 1.5~3달러/kgH<sub>2</sub>, 그린수소 3~7.2달러/kgH<sub>2</sub> 정도이다. 그레이수소가 가장 저렴하며, 그린수소는 상대적으로 고가인 상황이다. 그린수소의 평균적인 생산비용은 1kg 당 5달러 정도로 이중 최대 비용 구성 요소는 재생에너지 발전단가이고, 다음으로 전해조 설비의 비중이 높다.

블룸버그(BloombergNEF, New Energy Finance)에 따르면 그린수소 생산비용이 2050년에는 0.8~1.6달러/kgH<sub>2</sub> 수준까지 하락할 것으로 전망된다. 또한 다른 기관들의 분석에서도 2050년까지 1.5달러/kgH<sub>2</sub> 또는 1달러/kgH<sub>2</sub>에 도달할 것이라는 전망이 잇따르는 것을 고려할 때 장기적으로 그린수소 1kg의 생산비용이 1달러 정도가 될 것임을 예상할 수 있다. 여기에는 재생에너지 발전단가 하락, 수전해설비비 하락, 전해조 효율 향상과 운영비 하락 등이 큰 요인으로 분석됐다.

표 2에서는 2017년 기준 내연기관과 전기차, 수소차의 연료비 비교를 나타냈다. 수소의 생산단가가 1kg 당 7천~1만원 정도인 상황에서는 내연기관이나 전기차에 비해 상대적인 경제성이 높지 않은 것으로 분석된다.

그러나 앞의 여러 전망에서처럼 장기적으로 1kg 당 1달러 수준까지 가격이 하락한다면 내연기관 대비 약 10%이며, 전기차 보다도 낮은 가격의 공급이 가능할 수 있다. 특히 최근 유가의 급등으로 인한 영향까지 고려한다면 상대적인 경제성은 더욱 높아질 수 있다. 더구나 탄소중립에 기여할 수 있는 가장 최적의 기술이며, 에너지 수출까지 가능할 수 있다는 점을 고려하면 그 장점은 매우 뛰어나다.

세계는 그린수소의 경제성 확보를 위해 총력을 다하고 있다. 2020년 7월 8일 유럽연합은 '기후 중립 목표를 위한 수소전략'에서 2030년까지 최소 40GW의 수전해 설비를 설치하고 최대 천만 톤의 그린수소 생산 계획을 발표했다. 1GW는 원자력 발전소 1개소의 용량임을 고려하면 대단한 규모이다.

한편 아시아에서는 중국이 에너지 패권을 장악하고 있다. 중국은 2019년부터 육·해상풍력 모두에서 신규 설치량 1위를 차지하며, 지난해에는 52GW에 이르는 풍력발전 설비를 설치해 전 세계 신규 설치량의 55.9%를 차지했다. 국제에너지기구(IEA)의 '해상 풍력발전 보고서(2019)'에서는 중국이 2025년 세계 최대 규모의 해상풍력발전 용량을 갖추고, 향후 20년간 약 25배 성장할 것으로 전망했다.

중국의 전 공업정보화부 부장이자 현재 중국공업경

표 2. 내연기관 vs 전기차 vs 수소차 연료비 비교

구분	내연기관		전기차(아이오닉)		수소차
	휘발유차 (아반떼 1.6)	경유차 (아반떼 1.6)	완속	급속	
연비	13km/L	17km/L	6km/kWh	6km/kWh	96km/kg
연료비	1,499원/L	1,292원/L	71원/kWh	173원/kWh	7천~1만원/kg
100km당 연료비	11,448원	7,302원	1,132원	2,759원	7,280~1만400원
연간 연료비	157만원	100만원	16만원	38만원	99만원~144만원

\*유류비는 2017년 1월 16일 전국 평균 가격 적용

\*연간 연료비는 연간 13,724km 주행 기준

제연합회의 회장을 맡고 있는 리이중(李毅中)은 "그린수소는 사용 불가, 블루수소는 사용 가능, 폐수소는 재사용, 그린수소는 목표방향"이라는 문구로 중국의 수소에너지 발전방향을 밝힌 바 있다(산업통상자원부, 2021). 즉, 그린수소가 목표라는 것이다.

표 3에서와 같이 중국은 향후 수소공급의 70%를 수전해에 의한 그린수소로 계획하고 있다. 이는 신재생에너지에 의한 잉여전기로 그린수소를 생산하는 것이 가장 경제적임을 명확히 보여주는 것이다.

## 2.2 그린수소의 경제성

현재 신재생에너지의 불규칙한 전기생산을 대비한 수전해 시스템이 준비되지 못하여 과전압 방지를 위해 강제로 생산시설을 정지하고 있다. 독일의 경우 강제로 신재생에너지 생산시설을 정지시키는 대신에 국가가 이를 보상해주고 있다. 2020년 보상비가 약 6천억 정도로 만약 수전해 시스템이 갖춰지면 국가는 버리는 전기를 활용하게 되어 보상비 절감과 더불어 그린수소를 확보할 수 있다.

국내 사례도 유사하다. 아직 신재생에너지 시작단계인 제주도에서도 동일한 출력제한이 발생하고 있다. 2015년 3차례에서 2020년에는 77차례로 급증했으며, 2021년 역시 여러 대책에도 불구하고 64차례나 발

생했다.

CFI2030(Carbon Free Island 2030)은 2030년까지 신재생에너지로 제주도 전력 수요의 100%를 달성하는 에너지 정책이다. '탄소 없는 섬'이라는 명칭으로 2012년 처음 등장했다. CFI2030으로 제주도는 재생에너지 보급이 다른 곳보다 빠르다. 그러나 에너지 저장 시설(ESS)이 없기 때문에 강제로 신재생에너지 생산 시설을 정지시키는 것이다.

수전해란 물을 전기분해 하는 것이다. 여기서 효율을 결정하는 가장 중요한 변수는 저항이다. 기존 수전해 공법에서 사용되는 스택(stack)은 대부분 산화에 강한 티타늄을 사용한다. 티타늄은 저항계수 R이 0.48~0.56 정도의 값을 가진다. 즉 사용된 전력의 약 50%가 손실되는 것이다. 이를 해결하고자 주로 백금 계열의 촉매를 도포하여 R을 0.05 정도로 낮추고 있다. 하지만 이 경우 사용가능한 수명이 약 1만 시간 정도에 불과해서 비용이 증가할 수밖에 없다.

최근 국내 기업인 (주)에이치쓰리코리아에서는 신소재를 사용하여 촉매를 대체할 수 있는 수전해 기술을 개발했다. 이 기술은 저항계수 R이 0.03정도이면서, 반영구적인 소재를 쓰기 때문에 장치비와 수소생산 비용을 급격히 낮출 수 있다. 현재 그린수소 1kg의 생산단가를 3,000원 수준까지 확보하였다.

표 3. 중국의 2050년 주요 수소지표 목표

부 문		목 표
에너지시스템	최종에너지소비에서 수소 비중	10%
	수소 수요	6,000만톤
	온실가스 배출량	7억톤
수소 공급	수전해 수소생산 비중	70%
	전해조시스템 설비 규모	500GW
	수소총전소 개수	12,000개
	수소총전소 평균 건설비용(부지비용 제외)	800만 위안

출처 : 중국기능산업발전보고2020(중국전기자동차백인회, 2020.10)

수소이용의 궁극적인 목적은 미래 에너지 이동 수단이다. 따라서 경제성 확보가 가장 중요하다. 만약 우리나라가 저렴한 그린수소를 자체적으로 생산하지 못한다면 미래에도 여전히 에너지를 수입하는 국가로 남을 수밖에 없다. 하지만 정부의 대책은 이를 역행하고 있다. 대통령 직속 2050 탄소중립위원회는 2021년 8월 ‘2050 탄소중립 시나리오 초안’을 제시했는데 수소 공급의 대부분을 수입하는 것으로 되어있다. 연간 필요한 2천800만톤 안팎의 수소 중 81% 정도를 수입하고 나머지는 수전해 방식으로 확보하겠다는 것이다.

### 2.3 수전해 기술

그린수소의 경제성 확보에 핵심은 수전해 기술에 달려있다. 수전해 방식은 알칼라인(Alkaline), 고분자 전해질막(PEM, Polymer Electrolyte Membrane), 고체산화물(SOEC, Solid Oxide Electrolysis Cell) 등으로 구분된다.

알칼라인(Alkaline) 수전해는 알칼리 전해액을 이용해 물을 전기분해하는 방식이다. 장점은 오랜 기간 동안 기술개발이 이루어져 상용화가 가장 많이 되었고 대용량에 적합하다. 단점은 낮은 효율과 전극 부식, 전해액 보충 등이 필요하고 새로운 기술도입이 쉽지 않다.

고분자 전해질막(PEM) 수전해는 이온전도성 고분자 전해질막을 전해질로 이용하는 방식이다. 장점은 전류밀도가 높아 에너지효율이 좋으며 소형화에 적합하다. 단점은 양성자교환막과 백금촉매 등이 매우 고가라 생산단가가 높아진다.

고체산화물(SOEC) 수전해는 고체산화물 전해질을 이용해 800°C 이상의 고온 수증기를 전기분해해 수소를 생산하는 기술이다. 장점은 적은 에너지로 고효율의 물분해가 가능하며, 내구성이 뛰어나 유지보수가

용이하다. 단점은 800°C 이상 가열을 위한 열원이 필요하고 내구성확보를 위한 연구가 지속적으로 필요하다.

따라서 기존의 수전해 기술들은 낮은 효율과 높은 생산단가의 한계가 명확하다. 앞서 언급한 (주)에이치쓰리코리아에서 개발한 수전해 방식은 NICE(None Interval Catalyst Electrolyte) 공법이다. NICE는 기존 공법에 비하여 촉매와 전기비용이 적고 시설이 반영구적이라 높은 경제성을 확보할 수 있다. NICE에서 사용하는 NCM Cell은 반영구적이면서 전극의 산화방지, 전압 승압효과, 소요전력 감소 등의 장점을 가진다. NICE에서 전기분해 효율에 영향을 미치는 변수들은 다음과 같다.

$$E=f(R, T, D)$$

여기서,  $E$ : 전기분해효율,  $R$ : 저항,  $T$ : 반응온도,  $D$ : 스택(stack) 형상계수

이러한 전기분해효율을 높이기 위해 NICE는 촉매 대신 반영구적인 신소재를 사용한다. 저항계수  $R$ 은 약 0.03 정도로 백금 촉매보다 우수하며, 반응온도는 50°C 이하이다. 반응온도가 50°C 이상이면 에너지 손실이 크며 수소의 순도가 낮아진다. 스택의 유로깊이, 선형, 길이 등도 수전해 효율에 영향을 준다.

표 4에서는 앞에서 정리한 수전해 공법들을 비교하였다. 수소의 경제성 확보에 가장 중요한 요소기술이 촉매, 반응온도 등임을 확인할 수 있다.

### 3. 결론

탄소중립을 위해 탈탄소는 선택이 아니라 필수 요건이 되었다. 이에 신재생에너지의 비중이 급격히 커지고 있으며, 일정 수준 이상의 경제성도 확보하고 있

표 4. 수전해 공법 비교

구분	Alkaline	PEM	SOEC	NICE
개념	 <p>Alkaline Cell</p>	 <p>Membrane</p>	 <p>Solid Oxide Electrolysis Cell</p>	 <p>NCM Cell</p>
개발 단계	상업화 단계	상용화 단계	기초 연구 단계	상용화 단계
수소 판매가 (원/kg)	10,000원			5,000원
사용 전해질	KOH 수용액	고체 산화 고분자	세라믹 금속	KOH 수용액
사용 전극	Ni/Fe 전극	백금(Pt), 이리듐(Ir) 등	Ni이 도핑된 세라믹	NCM Cell*
수소발생반응 (HER)	$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	$H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + O^{2-}$	$2H_2O + 4e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$
산소발생반응 (OER)	$2OH^- \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^-$	$H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-$	$O^{2-} \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2e^-$	$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$
온도 범위	40 ~ 90°C	20 ~ 100°C	700 ~ 1,000°C	20 ~ 50°C
에너지 효율	낮음	보통	우수	우수
전력효율	낮음	보통	우수	우수

\*NCM Cell의 특징

- ① 반영구적, ② 전극의 산화방지, ③ 전압 승압효과, ④ 소요전력 감소

출처) (주)에에치쓰리코리아 제공

다. 하지만 신재생에너지로 생산된 전기는 불규칙하기 때문에 저장을 통한 이용이 필수적이며, 수소가 에너지 저장 및 이동 수단의 핵심이 되고 있다. 따라서 경제성 있는 그린수소의 생산이 가장 중요한 문제로 다가오고 있다.

앞서 언급한 것처럼 대한민국 2050년 탄소중립 시나리오에서는 2050년 국내 그린수소 필요량 약 2,800

만톤 중 80% 이상을 해외에서 수입하는 것으로 계획하였다. 30년 후 미래에도 우리나라는 에너지 수입국이라는 의미다. 하지만 이제는 자원의 매장량이 아닌 기술만 가지고도 에너지 수출국이 될 수 있다.

우리나라는 수전해 관련 연구개발의 역사가 짧고 국가적 투자도 외국에 비해 현저히 작다. 앞으로 국내의 기업들은 수전해 핵심부품의 저가화와 고효율, 고

내구성 등의 확보에 역량을 집중해야 한다. 이를 위한 정부의 지원도 필수적이다. 이를 통해 경제성 있는 그린수소를 생산할 수 있는 수전해 기술을 확보해야 한

다. 낮은 비용의 그린수소는 탄소중립에 기여함은 물론이고, 우리나라를 에너지 수출국으로 만들 수 있는 핵심이다.

### 참고문헌

- 국제에너지기구(2019). 해상 풍력발전 보고서  
기상청(2020). 2020년 이상기후보고서  
산업통상자원부(2019). 수소경제 활성화로드맵  
산업통상자원부(2021). 중국 수소에너지 산업 발전 현황, 산업통상자원부 블로그 산소통, 2021년 10월 16일  
안재현, 김진관(2021). 수소에너지, 우리가 선도해야 할 수자원, 한국수자원학회지, 한국수자원학회, pp. 147-151  
에너지경제(2020). 저탄소·재생 수소생산 비용 대폭 하락 전망, 2020년 5월 12일  
이정원, 김진관, 안재현(2022). 기후변화와 탄소중립 물관리, 한국수자원학회지, 한국수자원학회, pp. 23-34  
중국전기자동차백인회(2020). 중국기능산업발전보고2020  
환경부(2020). 2030년 온실가스 감축목표수립