

# 혁신적 에너지 패러다임 변화 필요



황지현

한국에너지공과대학교  
에너지공학부 교수

## ■에너지 수요 지속 증가

20세기와 21세기 초, 세계 인구의 지속적 증가와 인류의 생활 수준 향상으로 세계 에너지 소비량은 꾸준히 증가 추세를 보이고 있다. 2022년 기준 세계 총 1차 에너지 비중은 약 1만5,000MTOE로 2021년 대비 3.7% 증가했으며 에너지의 81%는 화석연료를 기반으로 만들어졌다.

이로 인해 2022년 전세계 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출량은 371억톤으로 전년 대비 2.5% 증가하면서 인류가 당면한 가장 큰 이슈로 기후위기가 떠올랐다. 오늘날 에너지 수요 증가를 만족시키면서 지구 온난화의 주요 원인으로 지목되는 GHG(Green House Gases)의 주요 원인인 화석연료 사용을 감축해야 하는 두가지 문제를 해결해야 하는 상황에 직면한 셈이다.

## ■기후위기 대안 수소

이 가운데 수소는 우주의 모든 화학 원소 중에서 가장 가볍고 단순하면서 가장 풍부한 원소이다. 연소함에 있어서 화석연료와 달리 CO<sub>2</sub>를 생성하지 않고 산소와 결합해 유일한 부산물인 물(H<sub>2</sub>O)을 배출한다. 또한 질량열량관점에서 다른 화석연료와 비교했을 때(141.9kg/g), 가솔린의 3배(47kJ/g), 천연가스의 2.6(54 kJ/g)배로 같은 질량일 때 더 많은 열량을 생산하는 장점을 갖고 있다.

## ■현재 수소 활용처

수소는 전통적으로 다양한 산업분야에 활용돼 왔으며 현재 전 세계적으로 매년 35Mt(5000 petajoules)의 수소가 생산되고 있다.

해당 시장은 약 600억달러로 예상되며 80~90%의 수소는 정유공장에서의 가공유, 암모니아, 메탄올과 같은 화학물질을 생산하는데 사용되고 있다. 나머지는 산업·화학공정, 식품제조에 활용되고 있다.

## ■화석연료 규제 강화

수소는 현재 정제 또는 산업에 사용되는 목적으로 주로 쓰이고 있다. 2050년제로(Net-Zero) 정책과 같이 선진국을 중심으로 국제사회에서 기후위기에 대처하기 위해 화석연료에 대한 규제를 강화하고 있다.

이에 재생에너지 수요는 더욱 증가해 2070년 전 세계적으로 5억미터톤 규모의 수소가 필요할 것으로 예상하고 있다. 특히 수송분야에서 수요가 급격히 증가할 것으로 예상되고 있다.

## ■캐리어(Carrier)로서 수소

수송분야에서 수소 수요가 증가할 것으로 예상되는 이유는 IMO(국제해사기구)가 화석연료 선박에 강력한 제재를 가하면서 다른 재생에너지(Renewable Energy)와 달리 에너지 캐리어(Energy Carrier) 역할을 수행할 수 있는 수소에 관심이 높아지고 있다.

이는 수소가 석유와 같이 전 세계적으로 유통될 수 있는 가능성을 보여준다.

## ■수소 생산 방법

현재 수소를 생산하는 대표적인 방법은 다음과 같다.

1. 전기분해(Hydrogen production by electrolysis)  
물을 전기분해해 만들어지는 수소는 품질(Quality)이 높고 탄소(Carbon), 황(sulphur), 질소 화합물(nitrogenous compounds)을 발생시키지 않는 장점이 있다.  
또한 전기분해(electrolysis)로 생성된 수소는 소형 모듈원자로(SMR)에 비해 정제 비용(Purification Cost)이 상대적으로 덜 들어간다.

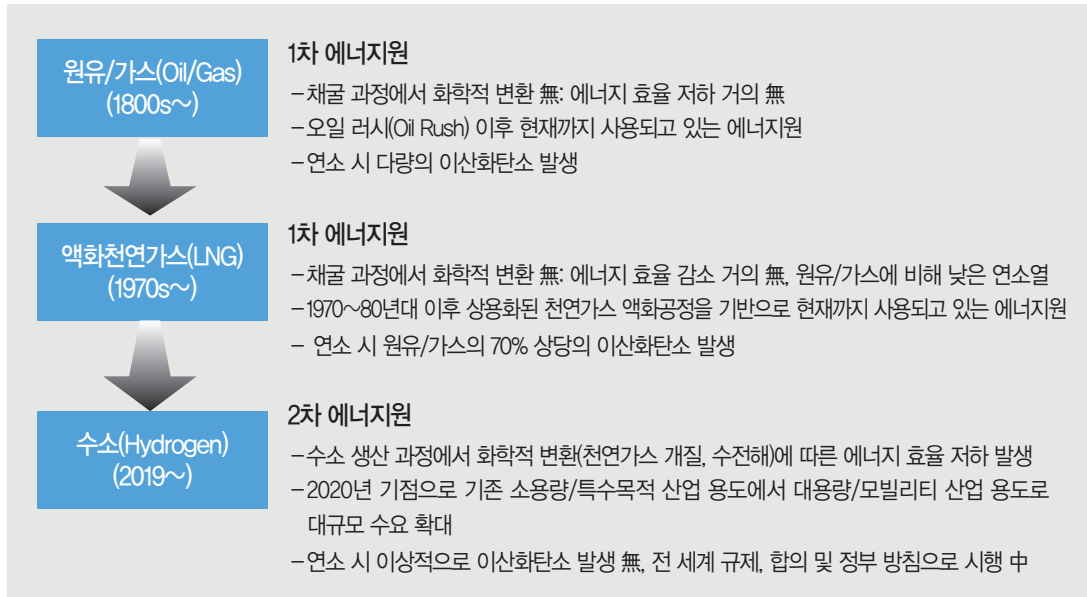
다만 수소 생산 과정에서 1kg당 약 55~60kWh의 전력(electricity)이 필요하다. 이는 천연가스에서 추출하는 그레이수소(Gray Hydrogen)에 비해 2배 넘는 수치이며 해당 과정에 사용되는 전기는 대부분 화석연료로 생성되고 있어 전체적인 라이프 사이클(Life Cycle) 관점에서 진정한 친환경 수소로 분류되기 어려운 한계를 지니고 있다.

2. SMR(Hydrogen production by Steam Methane Reforming)  
SMR 공정은 800°C에 이르는 높은 온도에서 메탄(CH<sub>4</sub>)을 반응시켜 수소를 생성하는 방식이다. 이때 생성물로 발생하는 이산화탄소(CO)는 물-가스 이동 과정 등을 결합해 추가적인 수소를 생산할 수도 있다.

현재 SMR 공정은 수많은 수소 생산 공정 가운데 가장 경제성이 높고 대량 생산할 수 있는 장점을 갖고 있다. 또한 CCS(탄소포집·저장) 기법을 활용해 생성과정간 발생하는 온실기체를 포집(Capture)할 수 있다.

하지만 본질적으로 공정간에 천연가스(NG)와 같은 화석연료를 사용해 온실가스(CO<sub>2</sub>)를 발생시키기 때문에 진정한 친환경 수소로 나아가는데 한

## 〈현 에너지 패러다임 변화의 문제점〉



계점을 지닌다.

## ■현재 수소 생산방식의 한계

이처럼 다양한 수소생산 기술에도 각각의 장·단점이 있다. 그 중 천연가스(Natural Gas)를 사용한 SMR(Steam Methane Reforming) 공정기법은 현

을 갖출뿐 아니라 친환경적이면서도 대용량의 수소를 생산할 수 있는 방식이어야 한다.

기존 공정과정을 통해 만들어지는 수소는 1차 에너지원인 화석연료, 재생에너지, 전기 등을 사용해 만들어지는 2차 에너지원이다.

따라서 현재 기술로 만들어내는 수소는 생산 과정에서 엔트로피 증가로 인한 에너지 손실을 필연적으로 야기한다. 이는 현재 수소가 다른 에너지원에 비해 가격경쟁력을 갖기 어려운 주된 이유다.

반면 천연수소는 화석연료와 같이 지구상에 존재하는 1차 에너지원이기 때문에 에너지 전환 과정에서 불필요한 에너지 손실을 야기하지 않는다.

즉 천연수소는 에너지 캐리어가 아닌 에너지 자원(Energy Resource)으로 간주될 수 있다. 이에 따라 더 이상 인위적인 에너지나 각 천연자원에 의존하지 않아도 된다.

그동안 천연수소는 인류에게 큰 관심을 받지 못했다. 이는 천연수소에 대한 일반적인 통념으로 수소는 반응성이 매우 크기 때문에 지질학적 관점에서 자연상에 그대로 존재하기 어렵다고 여겨왔다.

천연수소는 발견될 수 있는 기회를 얻지 못했고 관심에서 멀어질 수밖에 없었으며 이러한 연구기조는 1990년대까지 이어져 왔다.

## ■세계 각 지역에 보고된 천연수소 현황

2000년대 이후 오만, 뉴질랜드, 러시아, 필리핀, 일본, 중국, 이탈리아, 프랑스 웨스턴 알프스 등에서 천연수소가 발견되고 있다는 연구결과가 지속되고 있다.

또한 지난 30년간 보고된 천연수소 관련 데이터

## 안정적이고 깨끗하면서 지속가능한 청정에너지 생산 천연수소 생산·운송 경제성 확보 위한 연구개발 증가

제 가장 많은 양의 수소를 생산할 수 있으면서 다른 방법 대비 상업 경쟁력을 갖추고 있다. 하지만 모두 2차 에너지원이라는 근본적 한계를 지닌다.

따라서 현재 생산되는 수소는 SMR 또는 전기분해 공정간 엔트로피(S) 증가로 인해 전체적인 에너지 효율 감소를 발생시키게 됨으로써 기존 화석연료와 비교했을 때 경제성이 나빠질 수밖에 없다.

즉 SMR 공정으로 생산되는 수소는 약 10.30달러로 같은 양의 천연가스와 비교(3.62달러)했을 때 약 3배의 생산 비용이 드는 것을 확인할 수 있다.

따라서 LCA(Life Cycle Analysis; 전과정평가) 관점에서 현재의 수소 생산을 비취보면 기존 에너지원을 낭비하는 비효율적인 방법으로 취급될 수 있으며 생산공정간에 발생하는 온실가스 또한 무시할 수 없다.

일부 수소 생산과정에서는 친환경에너지인 태양광이나 풍력 등을 활용해 온실가스 문제에서 자유로울 수 있지만 친환경에너지를 기반으로 한 수소는 대량 생산이 어렵다는 한계를 지니고 있다.

## ■새로운 발견 천연수소(Natural Hydrogen)

미래의 수소는 화석연료와 견줄 수 있는 경제성

의 수가 활용될 수 있을 만큼 충분히 축적돼 관련 연구에 활력을 불어넣고 있다.

그 중 말리(Mali)는 세계 최초로 상업화 용도로 개발된 천연수소 유정(Well)으로써 천연수소의 미래 가능성을 확인시킨 지역으로 평가받고 있다.

해당 지역에서 생산되는 순도 높은 천연수소(98%)는 연소 과정을 거쳐 인근 지역에 전기를 공급하고 있다. 기존 수소 생산 가격의 2~10배 낮은 가격으로 공급되고 있다.

미국 에너지부 연구기관 에너지고등연구계획국(ARPA-E)은 2023년 천연수소 생산·추출 기술연구에 약 2,000만달러를 지원키로 발표했다.

이는 천연수소 부문에서 정부자금 투입되는 첫 사례이며 또한 미국 지질조사국(USGS)에 의하면 석유산업에 적용한 모델을 이용한 결과 지구 지각에 수조 톤의 수소가 있을 것으로 예상되면서 장기적으로 천연수소의 생산량은 연간 수억 톤에 이를 것으로 예상하고 있다.

세계적으로 천연수소의 유망 구조에 대한 자료가 지속 보고되고 있으며 그 중 대표적인 지역으로는 칸사, 러시아 퇴적분지, 브라질, 캘리포니아의 모래 안드레아스 단층이 있다.

## ■신공정 기술 개발 연구 저연

천연수소를 미래 에너지원으로 사용하기 위해 현지에서 생산되는 천연수소를 생산·저장·운송하는 부분에 초점을 맞춰 혁신적인 신공정 기술을 개발하는 연구를 수행할 필요가 있다.

이를 위해 현재까지 보고된 수소 유정의 저장용량과 성분을 분석하고 해당 과정을 통해 얻어진 데이터를 기반으로 해당 지역의 개발가능 여부와 함께 성분들을 각각 어떻게 분류할지에 대한 최적 공정을 제안한다.

비슷한 성분간 유정별로 그룹화하고 해당 그룹에 최적화된 신공정 기술을 개발하는 것이다.

이렇게 만들어진 신기술은 엑서지 분석(Exergy Analysis), 기술-경제 분석(Techno-economic Analysis), LCA를 통해 각 유정에 가장 적합한 혁신적인 기술을 개발하는 연구를 수행토록 해 미래 수소에너지 패러다임에 큰 변화를 가져다 줄 것으로 예상된다.

이를 통해 천연수소 매장 지역을 가장 경제성 있게 개발하는 방법을 고안할 수 있고 천연수소 신공정 기술 개발을 위한 선행 연구로 진행된 유정 성분 분석 연구 결과는 아직 밝혀지지 않은 천연수소의 지구 물리·화학적 특성을 이해하는 데 활용될 수 있다.

최종적으로 새로운 수소 생산원을 개발하는 기회를 제공함으로써 미래 증가하는 수소 수요를 만족시키는 동시에 수소경제활성화에 기여할 것으로 예상된다.

전북도시가스(주)  
JEONBUK CITY GAS CO., Ltd.

고객의 **행복**을 지키는 사람들

전북도시가스는  
정직한 마음과 성실한 자세로  
늘 깨어 여러분을 지키겠습니다.

모두가 행복한 세상, 모두가 꿈꾸는  
세상을 위한 발걸음 결코 멈추지 않습니다.