
수소에너지기술 현황과 막 응용

김 종 원
(한국에너지기술연구원)

수소에너지기술 현황과 막 응용

김종원

한국에너지기술연구원 책임연구원

고효율수소에너지제조·저장·이용기술개발사업단장 (과학기술부 21세기 프론티어사업)

jwkim@kier.re.kr, <http://www.h2.re.kr>

1. 시작하면서

최근 화석연료 사용에 따른 지구온난화를 포함한 환경오염 문제와 화석연료 고갈에 따른 에너지수급에 대한 우려로 이를 극복할 수 있는 대안으로서 수소경제로의 변혁을 국가적 차원에서 추진하고 있는 국가가 늘고 있다. 물론 완전한 수소경제로의 변화는 장기간이 소요될 것으로 예상하고 있으나, 수소가 다양한 원료로부터 생산할 수 있고, 연료전지 등을 이용하여 동력과 열 공급, 발전이 가능해지는 등, 기존에너지체제를 수소에너지 체제로 전환할 수 있는 가능성이 크기 때문이다.

세계 최대 자동차 제조업체 제너럴 모터스(GM)가 1970년대에 수소가 미래 에너지원으로 등장할 가능성에 대해 고려한 이래로 최근 수소에너지의 생존력 확보를 위해 전 세계적으로 공동 노력하자는 것이 큰 흐름이다. 이미 2000년 10월부터 과학기술부에서 국책사업으로 『고효율수소제조기술개발사업』을 연 10억원 규모로 시작한 이래, 이를 확대 개편하여 2003년 10월에는 연간 100억원씩 9년 6개월간을 투자할 계획으로 21세기 프론티어 사업으로 『고효율수소에너지제조저장이용기술개발사업단』을 출범시켰다. 산업자원부도 수소연료전지 사업단을 발족하여 연료전지 분야의 산업경쟁력을 강화하고자 하고 있다. 새로이 국제적인 화두로 떠오른 『수소에너지』에 대한 전망과 막 활용 사례를 언급하고자 한다.

2. 수소는 미래에너지?

에너지는 국가 안전 및 경제 사회발전의 절대적인 요소이자 원동력이다. 오랫동안 풍부하고 값싼 화석연료의 혜택으로 풍족한 삶을 누렸으나, 그 결과, 한편으로는 환경오염의 우려와 화석연료 고갈이후의 에너지문제를 어떻게 풀 것인가 하는 숙제를 안게 되었다. 이미 1992년 “Rio 세계 환경 정상회의”에서 기후변화협약을 채택하여 지구온난화 방지를 위한 국제적 노력을 개시한 이래, 1997년 교토의정서에 의해 구체화되었다. 우리나라가 이미 온실가스배출 세계 10위 국가이자 OECD 회원국임을 감안할 때, 에너지 절약과 이산화탄소 분리, 처리 등 온실가스 감축 노력을 지속하여 온실가스를 줄이는 노력 이외에 탈 화석연료를 구체적으로 시행하여야 할 때가 왔다. 석유중심의 경제체제를 이끌어온 석유의 공급이 수요를 못 따르는 시기가 빠르면 2014년경에는 현실로 나타날 것¹⁾ 또는 2004-2008년이면 정점에 달할

1) IEA, World Energy Outlook, 1998

것²⁾이라는 전망은 에너지확보의 노력을 석유를 대신할 신에너지기술에 초점을 두어야 한다는 것을 시사해주고 있다. 석유경제체제를 대신하여 수소를 중심으로 한 경제체제를 구상하는 이유가 여기에 있는 것이다. 수소는, 연간 5천억㎥가 생산되어 대부분 산업용으로 이용되어 왔으며, 수소경제체제가 되기 위해서는, 경제적 수소생산 기술, 연료전지, 가스터빈, 연소기, 내연기관 등 다양한 이용기술, 수소이용을 위한 법적 제도적 지원 및 규제가 뒷받침되어야 할 것이다. 아직은 원천기술 확보와 일부 시장도입 탐색단계에 있는 실정이지만, 2010년대쯤에는 경쟁력을 가지고 시장진입을 할 수 있는 기술과 상품이 늘어날 전망이다. 단기적으로는 화석연료를 이용하여 수소를 만들고 연료전지를 중심으로한 이용기술이 앞장서겠지만, 궁극적으로는 전 인류가 필요로 하는 에너지량의 1만 배에 달할 정도로 풍부한 태양에너지를 수소의 형태로 변환 및 저장하여 이용하여 청정하면서도 재순환이 가능한 수소경제체제를 갖춘다는 것이 인류가 갖는 꿈인 것이다.

3. 선진국의 수소에너지 개발 동향

에너지로서의 수소 가치는 1973년 석유위기이후 석유고갈 및 환경오염의 심각성이 드러난 이후이며, 각국이 국가적 차원의 수소에너지연구계획을 시작하였다. 수소에너지 기술은 국가경쟁력 및 후손의 미래에 직결되는 등 개발 효과는 매우 크나, 투자회수기간이 길고, 인프라 등 공공부문의 지원이 필요하여 민간주도 개발이 어려운 분야이며, 대부분의 국가에서 공공기술 성격으로 보아 국가주도로 지원하는 이유이다. 대규모 실용화를 목표로 1980년대 중반 독일에서 시작된 수소기술 개발 계획은 이후 미국과 일본에서도 본격적인 계획 수립에 착수하여 미국은 1990년, 일본은 1993년을 기점으로 각각 대규모 수소기술 개발 프로그램(WE-NET)을 시작하였다. 또한 아이슬란드는 세계 최초로 수소에너지 경제권의 창조를 목적으로 국가 프로젝트를 시작하였다.

독일³⁾은 수소와 관련하여 기초분야 52개 과제를 포함 16개 분야 200여 과제를 수행완료 또는 수행중이다. 독일 정부의 수소와 연료전지 관련 기술 개발 예산은 1997년 25백만 DM, 2000년에는 31백만DM이었으며, 대표적인 프로그램인 SWB프로젝트 (태양-수소에너지 이용 시스템 및 기기 개발, 1986~1999, 145백만 DM), HYSOLAR 프로젝트 (독일-사우디아라비아 태양-수소에너지 시스템 공동연구, 1986~1995, 84.8백만DM), 원형공항차량 수소화 프로젝트 (30백만DM) 등에서 알 수 있는 바와 같이, 개별적인 프로젝트의 도입 목적이 뚜렷하다는 특징이 있다.

미국은 1990년 통과된 마츠나가 수소연구개발법안 (Matsunaga Hydrogen Research and Development Act)에 힘입어, 미국에너지성 주도로 수소에너지 프로그램을 진행 중이며, 중장기적인 안목으로 수소를 에너지 체계에 도입하고자 하고

2) Kenneth S.Deffeyes, Hubbert's Peak (2000)

3) <http://www.dww-info.de/dwvlinks.htm>

있다. 수소도입목표를 단계적, 정량적으로 제시하고 있으며, 2025년 전체에너지 공급량의 10%(미국의 경우 원유의존도가 50% 수준으로 낮추어질 것으로 전망)를 태양 등 재생가능에너지로부터 제조된 수소를 공급할 목표를 가지고 있다. 2003년 1월 연두교서에서 부시대통령은 미국의 점증하는 석유 해외의존도를 역전시킬 수 있는 12억 달러에 달하는 FreedomCAR (Cooperative Automotive Research) and Fuel Initiative(무공해자동차협력연구 및 연료개발 선도계획)을 발표하는 등 5년간 17억\$를 투입할 계획이다.⁴⁾ 이를 뒷받침하기 위해 여러 분야의 국제공동협력을 제안하고 있다.

우리나라와 같이 에너지의존도가 높은 일본의 경우, 20년전부터 화석연료의 고갈 및 지구 환경 오염 문제를 해소하기 위한 신 에너지 개발을 적극적으로 추진해 왔으며, 대표적인 것이, 수소 이용 국제 클린 에너지 시스템 기술(World Energy Network ; WE-NET)⁵⁾(1993~2020년까지의 28년간을 I, II, III기로 구분하여 24억\$를 투입 계획이었음)이다. 경제 산업성은 연료 전지의 원활한 도입과 보급을 꾀하기 위하여 WE-NET II 프로그램을 1년 앞당겨진 2002년에 종료하고 「수소 안전 이용 등 기반기술 개발 사업」을 2003년부터 2007년까지 5년간에 걸쳐 수소의 안전성과 관련되는 데이터의 취득과 안전 기술의 확립, 수소 압축기기 등 수소용 기기의 국산화 및 수소의 제조·수송·저장 등과 관계되는 기술 개발을 시작하는 등, 수소연료전지 분야를 국가경제부흥의 계기로 삼고자 국가적 지원을 아끼지 않고 있다.

1999년 2월, 아이슬란드가 세계 최초의 수소경제 국가, 수소에너지체제로 가기 위한 과감하고도 야심에 찬 장기계획을 발표하고 나섰다. 아이슬란드가 추진 중인 계획의 목표는 에너지 수입국에서 에너지 수출국으로 바뀌려는 꿈과 함께 승용차·버스·트럭·트롤선 연료를 수소로 전환한 뒤 곧 이어 수소로 전기도 생산하고 공장·사무실·가정에 열·빛·동력까지 제공하는 것이다. 풍부한 1차 에너지를 바탕으로, 2035년에는 수소경제중심사회를 달성할 것으로 보고 있는데, 수소연료전지 분야에 세계적으로 우수한 기업들의 기술전시장이 될 전망이다.

4. 국내 수소에너지 개발 동향

우리나라에서는 수소에 관한 연구는 1970년대 말부터 관련 기초연구가 시작되었으며, 1989년 과기처의 지원으로 한국에너지기술연구원이 연구를 총괄하여 수소에너지 관련 기초연구(수소의 제조기술, 수소의 저장기술 및 수소의 안전대책기술 관련으로 9개의 연구과제)를 대학 및 연구소에서 공동으로 수행하였으나, 1992년 마감되었으며, 이후 G7 과제에 채택되지 않음에 따라 대체에너지 기술개발사업 및 관련 연구소에서의 중장기 연구계획에 따른 연구가 수행되었다. 1988년부터 시작된 대체에너지 기술개발사업에 따라 1992년부터 수소에너지 분야의 연구개발도 지

4) <http://www.eren.doe.gov/hydrogen>

5) <http://www.ena.or.jp/WE-NET/index.html>

원되기 시작하였는데, 대부분이 대학에서 기초연구 수준으로 진행되어 오다가 가시적성과를 기대할 수 있는 분야의 대형화 사업으로 변환하고 있는 추세에 있다. 수소제조에 대한 장기적 원천기술(열화학적, 생물학적 및 광촉매를 이용한 물로부터 수소 제조) 확보를 목표로 과기부에서 2000년 10월부터 5년간 60억을 지원하는 국책사업으로 고효율 수소제조기술개발을 시작한 이후, 이를 1단계로 조기 종료하고, 2003년 9월부터 프론티어사업(고효율 수소에너지 제조·저장·이용기술개발사업단)으로 확대 개편하여 수소에너지 제조, 저장, 이용(연료전지 제외)기술 전반에 대하여 연 100억 규모를 10년간 투자하는 기술개발 프로그램을 시작하였다. 산업자원부에서도 단기적 실용화 가능 과제를 중심으로 2004년 7월 수소연료전지사업단을 구성하여 연료전지분야의 연구에 박차를 가함으로써 수소경제시대를 대비하고 있다. 부존자원이 거의 없어 소요에너지의 97%를 수입에 의존하고 있고, 그 대가로 연 320억\$가 넘는 외화를 써야하는 현실이다. 더구나 인구밀도가 높고 대도시에서 인구가 집중되어 있는 상황에서, 자동차 등록대수가 1300만대를 넘어 환경오염으로 인한 대기질의 악화는 우려하지 않을 수 없다. 이러한 사정을 감안할 때, 우리나라가 수소에너지에 거는 기대는 그 어느 나라보다 크다.

5. 수소분야 국제 협력 연구 동향

경제 성장, 에너지 안보, 환경보호 및 복지를 위한 협력을 위해 국제에너지기구(IEA)는 제1차 석유위기 다음 해인 1974년에 설립하였으며 경제협력개발기구(OECD)의 산하기구로서 운영하고 있다.⁶⁾ 1977년에 수소 생산, 저장 그리고 최종 이용 기술의 향상과 수소의 도입과 광범위한 이용을 가속하기 위하여 수소협정(Hydrogen Agreement)으로 알려진 수소 생산 이용 프로그램을 착수하여, 기술적 경제적 장벽을 해소하기 위해 공동연구를 하고 있다.

2003년 1월 미국 부시대통령이 연두교서에서 “Hydrogen Fuel Initiative” 발표한 이래로, 4월 미국 에너지부 장관이 수소 및 연료전지기술의 잠재적 협력분야를 발굴 및 증진을 목적으로 하는 “수소경제를 위한 국제 파트너십(IPHE)”을 국제에너지기구에서 제안을 계기로, 11월 20일 워싱턴에서 IPHE 창립 각료회를 개최하면서 발족되었다. IPHE⁸⁾는 10년 계획 프로그램으로서 수소경제로의 조기이행을 위한 다자간 연구개발, 실증, 상용화를 위한 법령, 표준, 규정 등의 정책 및 기술지침을 개발을 주목적으로 하며, 국제 협력 증진을 위한 지원 및 사회경제적, 정책적 현안 등이 검토 될 예정이다. 현재 IPHE의 파트너 국가는 오스트리아, 브라질, 캐나다, 중국, 프랑스, 독일, 아이슬란드, 인도, 이태리, 일본, 한국, 러시아, 영국, 미국, 노르웨이 등 15개국과 EC이다. 우리나라는 산업자원부와 과학기술부가 협력하여 이 분야에 참여하고 있다. 현재 운영위원회(Steering committee)와 실행연락위원회

6) <http://www.h2.re.kr>

7) <http://www.iea.org/>

8) <http://www.usea.org/iphe.htm>

(Implementation Liaison committee)로 구성되어 있으며, IEA의 수소프로그램과 시너지효과를 낼 수 있도록 조정될 것이다. APEC에서도 이 국제협력에 동참하고자 하고 있다.

대규모의 수소생산과 관련하여 원자력은 주요한 역할을 할 수 있는데 이는 물의 전기분해에 의한 수소생산 공정에서 전기를 공급함으로써, 혹은 화석연료 전환공정이나 열화학적 사이클 공정에서 고온열을 공급함으로써 이루어진다. 2003년 미국 DOE는, 2015년까지 INEEL에 수소생산 실증원자로 개발을 추진하고, 2010년까지 연구개발비 10억\$ 투자를 발표하였다. 미국이 주축으로 제안한 Gen IV⁹⁾는 차세대 원자로에 대한 가능성을 타진하기 위해 구성되었으며, 우리나라도 원자력수소분야 등에 동참하고 있다.

Futuregen 프로그램은 석탄이 다른 화석연료자원과 비교하여 상대적으로 풍부한 연료이기 때문에 석탄에서 수소를 만들고 전기를 생산함에 있어 이산화탄소의 분리 및 처리까지 고려하여 경제적, 기술적 가능성을 검증하는데 목표가 있으며, 석탄이 풍부한 미국이 주도하여, 이 분야의 국제공동 연구를 모색하고 있다.¹⁰⁾ 석탄이 풍부한 나라들은 이에 관심을 가지고 있으며, 우리나라의 경우 이미 G7 계획으로 관련기술인 IGCC(석탄가스화복합발전) 프로그램을 진행한 바 있다.

6. 기술의 융합

세계적으로 기술의 융합화 추세와 기술혁신의 가속화로 우리나라도 이미 T brothers (IT, BT, NT, ET, ST 등) 분야의 계획을 국가적 차원에서 세워나가고 있다. 원천기술로부터 제품화 응용에 이르기 까지 기초연구분야와 공학기술, 정보화 기술 등의 결합이 필수적이며, 21세기의 신(新)산업혁명을 주도할 핵심 기술이 될 것이라는 기대를 받고 있다. 그렇다면, 이러한 NT, BT, ET와 수소에너지는 어떠한 관련이 있는가?

먼저 NT를 보자. 나노 구조를 이용한 새로운 기술들의 잠재성은 고효율로 태양에너지를 유용한 형태로 변환한다거나, 수소저장, 고효율 연료 전지 제작 가능성 등 수소에너지와 관련한 분야에서 찾아볼 수 있다. 게다가 수소는 우주에서 가장 작은 원소이니 잘 어울릴 듯 하다. 이 작은 수소의 저장을 하기 위해서는 침투성과 누출을 막는 것이 필요하며, 나노수준의 입자를 사용한 소재 기술도 응용이 되고 있다.

“21세기는 BT시대” 라는 말이 반영하듯이, 식품/ 의약품/환경분야 등에서 이미 맹활약을 하고 있는 BT기술은 유전자 정보를 자산으로 만들기 위한 경쟁에 돌입해 있고, 수소에너지분야에도 깊숙이 파고 들어와 있다. 1997년 미국 하와이에서의 모임을 시작으로 Biohydrogen 학회는 매 2년마다 개최되고 있다. 태고적부터 지구상에 산소를 공급해주었던 미생물이 이제는 에너지도 공급해주는 시대가 올 것

9) <http://gen-iv.ne.doe.gov/>

10) <http://www.fossil.gov/programs/powersystems/futuregen/>

같다. 환경과 에너지문제를 해결할 ET기술로 수소에너지가 대안의 하나임은 재언할 필요조차 없게 되었다.

수소를 만드는 데 있어 개질공정에서는 선택적 산소투과막(OIT)이나 수소투과막 기술이 활발히 연구되고 있으며, 정제기술로서도 큰 역할을 할 것으로 보고 있다. 수소제조방법의 하나인 고체고분자 전해질 수전해법에서도 프로톤 막을 선택적으로 투과시키는 막을 사용하고 있으며, 센서부분에서도 이미 수소에 대한 선택도를 높이기 위하여 수소만을 투과시키는 실리카 막을 활용한 사례가 있다.

이미 1970년대에 핵열을 이용한 열화학적 물분해공정으로 수소를 제조하는 공정을 연구하여 왔지만, 최근 다시 부각되는 이유는 새로운 분리기술을 접목시켜 효율을 높일 수 있는 가능성이 있기 때문이다.

이와 같이, 수소제조와 정제에 있어서 막분리공정의 응용으로 에너지의 저감, 저비용, 고효율화, 청정화가 이루어질 수 있다면, 에너지의 97%를 수입하는 국가 현실로 볼 때, 그 파급효과는 경제 및 환경측면에서 매우 놀라울 것임은 쉽게 예측할 수 있다.