

### 03 수소에너지

# 태양에너지를 수소로 바꾼다



한국에너지기술연구원은 수소를 사용하는 연료전지(발전기)와 축전지로 구동되는 연료전지 자동차를 국내 최초로 개발했다. 이 자동차는 48ℓ의 수소를 1회 주입하면 210km를 주행할 수 있다.

연합포토

글\_ 김종원 한국에너지기술연구원 책임연구원 jwkim@kier.re.kr

**수**소는 석탄, 석유, 가스와 같이 채굴을 통해 얻을 수 있는 1차 에너지가 아니라 수소를 함유한 물질을 분해해서 얻어야 하는 2차 에너지이다. 수소가 우주질량의 약 75%, 분자의 90%를 차지하고 있는 가장 풍부한 자원이지만, 쉽게 만들어서 이용할 수 있는 것은 아니라는 것이다. 수소는 전기와 같은 에너지매체이기 때문에 이것을 만들기 위해서는 '당연히' 어느 정도 에너지 소비가 불가

피하지만, 이 에너지를 태양에너지 등 '안 쓰면 버려져야 할 재생에너지'에서 얻는 것이라면 효율이 낮더라도 충분한 의미가 있다.

#### 수소에너지 원천기술 확보 각축

지구상에서 우리가 얻을 수 있는 에너지는 태양에너지의 한 형태로 보아도 과언이 아니다. 태양이 내놓는 에너지 중 지구에 도달하는 양은 22억분의 1에 불과하

나, 이 양만으로도 전인류가 1년간 소비하는 에너지량의 1만 배에 달한다. 태양 에너지를 수소로 변환, 저장 및 이용하면 태양에너지가 갖는 단점인 간헐적이고, 에너지밀도가 낮으며, 수요처와 공급처와의 거리가 멀다는 등의 장애요인을 넘어설 수 있다. 수소경제는 수소에너지의 특성인 청정성, 원료다양성 및 이용기술의 하나인 연료전지의 기술 발전에 힘입은바 크다. 수소경제로 가는 길을 막고 있는 경

제적·기술적 장벽을 우리 나라를 비롯한 각국이 본격적으로 제거하려는 노력이 점차 가속되고 있는 것이다.

소요에너지의 97% 수입 의존, 배럴당 60달러 이상의 고유가, 높은 인구밀도, 대도시 인구집중, 2005년 2월 현재 자동차 등록대수 1천500만대라는 상황은 수소에너지에 거는 기대를 크게 한다. 수소경제로의 전환은 국가마다 다르나, 2020년대부터 시장진입과 함께 확대되기 시작해 2040년대 이후에는 본격적인 수소경제체에 들어갈 것으로 보고 있어 장기적 추진 계획과 2~3년 주기의 수정 보완이 필요하다. 수소경제가 되려면 저가 대량공급기술 등 인프라와 함께 다양한 수소이용 기술이 개발되어야 하며, 일반인도 안전하게 이용할 수 있도록 법적, 제도적 지원 및 규제가 뒷받침되어야 한다. 주요 변수는 수소에너지기술과 경쟁관계에 있는 여러 기술의 진보 정도에 달려 있다.

수소경제와 관련된 이슈는 기술의 진전과 각국의 상황에 따라 달라진다. 수소제조 방법을 예로 든다면, 브라질은 자국의 풍부한 식물자원에서 얻는 에탄올을 이용한 개질 기술을 유력한 기술로 보고 있으며, 이용분야도 자동차이용에 있어서는 에탄올 자동차를 주로 하고, 수소는 주로 가정용이나 분산전원용 연료전지 등에 이용하는 방향으로 고려하고 있다. 수입의존도가 높을 수밖에 없는 국내 여건을 감안한다면 앞으로도 한두 가지 기술로 수소를 공급한다는 것은 매우 어려울 것으로 예상되는 만큼 장기적 전망과 기술개발·보급정책, 우리 실정에 맞는 에너지믹스 전략을 세워야 할 것이다.

이미 지난 3월 수소경제에 대한 비전과 추진을 산업자원부에서 천명한 만큼, 이

〈표 1〉 수소에너지 관련 국가 프로그램

프로그램 명	연차별 예산	비고
수소연료전지사업단 (산자부, 04.5 출범)	5년간 1,500억 투자 계획	연료전지 관련 기술 (개발 및 보급계획완료) <a href="http://www.h2fc.or.kr">http://www.h2fc.or.kr</a>
수소에너지사업단 (과기부 프린티어 사업, 03.10 출범)	10년간 연 100억 수준	수소제조, 저장 기술 위주 (단계별 계획 완료) <a href="http://www.h2.re.kr">http://www.h2.re.kr</a>
원자력수소 (과기부, 04.3 출범)	1차연도 30억 2차연도 90억	수소생산용 신행원자로 개발과 수소생산기술(단계별 계획 완료) <a href="http://www.hydrogen.re.kr">http://www.hydrogen.re.kr</a>

를 뒷받침할 수 있도록 과학기술부 혁신 본부를 주축으로 과학기술부, 산업자원부, 건설교통부 등 관련 부처의 기술개발 계획이 한데 어우러져 국가 장기 계획으로 추진 보완될 것이다. 현재 진행되고 있는 대표적인 수소에너지 관련 사업은 〈표 1〉과 같다. 각국이 기술 선점을 위한 각축을 벌이고 있는 이유가 바로 수소경제 관련 원천기술이 국가와 산업의 경쟁력을 제고시키는데 있음은 잘 알려진 바이다.

#### 태양전자-수소시스템으로 수소 생산

수소제조분야는 기술 동향과 수준을 감안할 때 분산전원용, 수소충전소 등 수소를 필요로 하는 현장에서의 소규모 수소제조공정이 부생수소이용과 함께 우선적으로 선보이고, 시장 확대에 따라 인프라가 구성되면 중앙집중식의 대규모 수소제조 공정이 도입될 것으로 보인다. 다행히도 우리 나라 공단의 위치가 울산, 여천, 대산 등 지역 안배를 이루고 있어 부생수소 수급에 있어 유리한 위치에 있으며, 천연가스 공급망이 잘 정비되어 있어 천연가스 개질에 의한 수소공급도 비교적 쉽

다는 점도 단기적 대응을 용이하게 하는 바탕이 된다.

수소에너지 시스템 실용화를 위한 안전한 수소 저장·수송기술, 특히 액체 또는 고압저장기술은 현재 천연가스기술과 공유되는 부분이다. LPG 차량과는 달리 천연가스차량의 운용 실적은 고압가스를 취급해야 한다는 점에서 유사성이 많아 수소차량의 운용 및 보급에도 도움이 될 것이다. 최근에는 그 동안 연구해왔던 재생에너지, 석탄 및 환경 등에서 얻은 연구와 실적을 수소경제와 연계할 수 있는 방안이 논의되고 있다.

현재 시범은행단계에 있는 연료전지자동차의 시장진입을 위해서는 기존 화석연료를 이용한 수소 제조기술이 필요하며, 우리 나라에서도 LPG, 가솔린, 나프타, 천연가스 등을 이용하여 앞으로 3년내에 4기를 건설할 예정이다. 우선 시간당 20~30m<sup>3</sup> (하루 승용차 10~20대 충전 가능)의 수소생산용 개질 기술을 개발하거나 도입 운용하여, 실증을 거쳐 필요에 따라 하루에 승용차 200대 정도의 충전이 가능한 시간당 300m<sup>3</sup> 규모의 수소를 현장에서 만들어 낼 수 있는 수소충전소 기

술 기준을 만들 계획이다.

장기적으로는 재생에너지를 이용한 수소제조기술에 역점을 두고 있다. 물 전기분해 효율을 80%, 태양광 발전 효율을 12%대로 본다면 태양에너지의 10%를 수소에너지로 바꿀 수 있어, 필요할 때 연료전지로 전기와 열을 만들어 낼 수 있다. 태양전지-수소시스템을 통해 가정용 수소충전용으로 쓰기에 충분한 시간당 5m³의 수소를 만들어 낼 수 있는 기술을 개발할 것이다. 또한 미생물을 이용하거나 광촉매를 이용하여 상온에서 태양빛만으로 수소를 만드는 기술 확보에도 노력을 기울이고 있다. 현재는 광촉매 이용의 경우 가시단색광에서 태양광 변환 효율이 1% 정도 되는 수준이며, 미생물 이용기술의 경우 인공광 이용효율이 5% 정도다. 광전지화학전지(PEC) 및 광·효소촉매를 이용한 수소 생산도 연구되고 있다. 이외에 관심을 가지고 추진하고 있는 분야는 고온수전해 기술로 고온열원이 있는 경우 물분해 필요에너지를 열로 공급함으로써 전기분해를 할 때 전기소모량을 줄일 수 있는 장점이 있다.

수소는 상온, 상압에서 기체로 존재하기 때문에 부피당 에너지 밀도가 매우 낮고 액체연료에 비해 저장, 운반이 불편하다. 현재 액체 수소저장법, 기체 수소저장법 등 상용화된 기술이 있지만, 궁극적으로는 저압에서 안전하게 수소를 저장하고 수송할 수 있는 기술이 개발돼야 한다. 하지만, 연료전지 자동차의 시장진입을 위해 현재 ISO TC197에서 표준화작업이 진행되고 있는 고압수소저장 기술의 상용화가 우선적으로 필요하다. 현재 350기압 Type 3 복합용기의 제조사 인증 허가를 (주)이노컴에서 받을 것으로 예상하고 있

	건설중인 연구용 천연가스 개질 수소충전소. (자료:에너지기술연구원) - 사용압력: 350기압 - 저장능력: 170m³ - 처리능력: 20Nm³/hr
	국내 기업 연구소에 설치된 off-site형 수소충전소 (2005년 9월 7일 준공) (자료:현대자동차) -사용압력: 350기압/700기압 -저장능력: 7899m³ -처리능력: 406 N m³/hr
	고분자전해질막 이용 수전해 셀 (자료:엘렉텍)
	유기물로부터 혐기 및 광합성 미생물을 각각 적용시킴으로써 수소를 생산하는 기술이 환경 및 에너지 측면에서 관심을 끌고 있다. (자료:한국에너지기술연구원)
	원자력 수소 실증사업을 원자력연구소를 주축으로 한국에너지기술연구원, 한국과학기술연구원 등이 참여하여 2004년 3월부터 연구개발 중이다. (자료:한국에너지기술연구원)


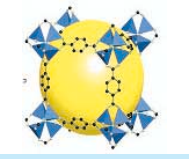

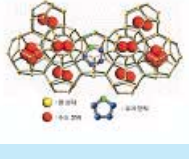
는데, 미국 이외의 지역에서는 그 어느 나라보다 먼저 시제품을 내놓을 수 있는 기반이 갖추어진 것으로 평가된다. Type 4 복합용기도 국내 (주)케이시알에서 DOT(미국 교통부) 인증을 받는 단계에 있다. 이 두 가지 형태의 용기 모두 중량밀도 4.5wt%, 체적밀도 20kg/m³을 만족시키고 있으며, 최종적으로는 700기압용 용기 및 시스템 개발을 목표로 하고 있다.

고압용기를 이용한 수소자동차 탑재용 고압수소저장 시스템 구성과 필요 부품 개발은 현대 자동차와 모비스, 로템 등이 참여하고 있다. 장기적으로는 금속수소화물 등 수소저장 합금방법 등 고체저장 방법과, 화학적 수소화물( NaBH4 화합

물 등), 유기 및 무기 또는 복합 나노소재 이용 기술, 나노공간을 갖는 얼음 입자 등 보다 저압에서도 안전하면서 경제성을 도모할 수 있는 새로운 개념의 저장기술도 활발히 연구되고 있다.

**고효율 '수소연소 리니어 동력·발전시스템'**

수소에너지 이용기술의 대표격인 연료전지기술은 가장 활발한 연구가 이루어지고 있는 분야이다. 연료전지 이외의 기술로 국내에서도 이루어지고 있는 연구는 리니어 엔진(10kW급)개발, 중대형 수소-천연가스 열병합 발전기술(100kW급) 등이 있으며, 안전사용을 위한 표준화와 코드화, 센서 및 응용기술도 활발히 진행되

	<p>국내 업체가 개발한 복합소재를 사용한 고압수소저장용 용기로 천연가스차량용으로도 사용된다.(자료: 이노컴, 케이시일)</p>		<p>수소저장가능성으로 관심을 끄는 신소재인 미세 다공성 배위고분자화합물 (MOF-5) (자료: 송실대 김자현 교수)</p>
	<p>화학수소화물을 이용한 시험용 연료전지 스쿠터 (300W motor, 속도 20 km/hr, 운행시간 7시간) (자료: 삼성 엔지니어링)</p>		<p>빈 공간을 갖는 얼음 입자도 수소저장 후보다. (자료: Nature, Vol 434, 7 April 2005, H.Lee et al.)</p>

	<p>수소 연소 리니어 동력/발전 시스템 (자료: 효성, 코리아엔진텍)</p>
	<p>저농도(100ppm 이하)에서 고농도(4% 이상)까지의 수소를 감지하며, MEMS 기술을 이용, 센서 크기 2×2mm<sup>2</sup>인 고성능수소센서의 개발을 목표로 하고 있다. (자료: 한국에너지기술연구원)</p>
	<p>수소 흡착에 따른 광투과율 변화를 광섬유를 이용하여 원격 측정하기 위한 원격 센서. 측정범위 100ppm(0.01%) 이하, 응답시간 5초 이하를 목표로 하고 있다.(자료: 서강대)</p>
	<p>수소사고에 대비하기 위한 안전지침과 법규의 제정 또는 보완을 위한 연구도 진행되고 있다. 사진은 폭발 압력 방출 및 화재전이 실험장면(자료: 호서대)</p>

고 있다.

수소 연소 리니어 동력/발전 시스템은 크랭크 기구가 없어 기계적 손실이 없을 뿐만 아니라 피스톤의 관성력을 최대한 압축일로 전환시키고 폭발 압력을 최대한 팽창시킬 수가 있어서 고효율이 기대되는 시스템이다. 용량에 맞추어 하이브리드 자동차용, 분산전원용 등으로 사용될 수 있는지 기술적 가능성을 검토하고 있다.

자동차수소의 사용안전을 위한 수소가스 사고 및 위험성에 대한 안전관리 기술 분야에서는 정성·정량적 위험성 평가 기술 분석, 수소가스 폭발 및 화재실험, 안전관리 관련법안의 초안을 도출하는 것이 연구 목표다. 센서 분야는 충전소나 자동차 등 수소사용 영역이 일반인에게 점차 확대됨에 따른 시장과 안전 확보 측면에서 지원되고 있으며, 소형이면서도 신뢰성이

높은 저가의 검지센서 개발을 목표로 하고 있다.

지금까지 국내에서 이루어지고 있는 수소에너지 분야의 대표적인 기술개발동향과 성과를 언급하였는데, 가격 경쟁력과 기술 신뢰성을 갖추기 위한 노력이 점차 가시화될 전망이다. 수소라고 하면 ‘위험하다’는 부정적인 생각보다 ‘안전한 에너지’라는 인식을 확산시키는 것이 시장 진출과 확대를 위해 반드시 필요하다. 또한, 일반인에게 확대되는 과정에서 사용자의 실수에 의한 사고를 최소화하기 위해서는 2중 3중의 안전장치를 만드는 것이 매우 중요하다. 최종 사용자가 될 일반인들이 수소에너지기술이라고 하는 신기술에 익숙해지도록 하기 위한 교육 및 실증프로그램 추진도 비중 있게 다루어져야 할 것이다.

이미 국제표준기구(ISO)에서는 수소에너지기술에 대한 국제적 표준을 준비할 시기가 도래하였다고 보고 ISO/TC-197이라는 위원회를 발족시켰다. 수소자동차 운행에 필요한 분야에 대해 10개 작업반에서 14종의 프로젝트를 진행하여 수소연료 제품명세 등 2종은 이미 국제표준이 만들어졌으며, 수소충전소 등 12종이 제정 준비중이며 국제 표준화에 대한 대응과 KS 규격 제정은 기술표준원을 중심으로 진행되고 있다. 우리도 이미 각 기술개발분야에 대학교, 연구소, 기업체가 협력하고 있다. 이제는 기술로 에너지 문제를 극복해야 할 시대가 온 것이다. ㉔



글쓴이는 한국에너지기술연구원 수소에너지센터장, 과기부 수소에너지 제조 국책사업단장을 지냈으며, 과기부 21C 프론티어 수소에너지사업단장을 겸임하고 있다.