



- 수소 에너지 현황 분석 -

2010. 05.

한미과학협력센터

- 목 차 -

1. 미국의 수소에너지 활용 역사

2. 미국의 수소에너지 현황 및 특징

가. 수소에너지 시장현황 및 전망

- 1) 수소에너지 생산과 수송
- 2) 수소에너지 소비
- 3) 수소에너지 관련 교육 및 취업 현황
- 4) 향후 산업 전망

나. 주요 관련 기구

- 1) 에너지부 EERE
- 2) 수소/연료전지기술 자문위 (HTAC)
- 3) 국가연구위 (NRC)

다. 수소에너지 관련 주요 법령 및 정책

- 1) 에너지정책법
- 2) 국가수소에너지로드맵
- 3) Hydrogen Posture Plan
- 4) Multi-Year Research, Development and Demonstration Plan

라. 에너지부 수소에너지프로그램

- 1) 프로그램 개관
- 2) 프로그램 운영체계
- 3) 프로그램 예산
- 4) 프로그램 주요활동

3. 미국의 최근 수소에너지 관련 주요 정책동향

가. 경기부양법(ARRA) 내 수소에너지 관련 내용

4. 한국과의 수소에너지 협력 현황 및 발전방안

1. 수소에너지 활용 역사

인류가 수소를 하나의 원소로 최초로 인식하게 된 계기는 1766년 영국의 과학자인 Henry Cavendish로부터 비롯되었다. 그는 수소 아연 금속을 염산에 반응시키는 과정에서 수소가스를 분리하였으며, 이를 영국왕립학회(Royal Society of London)에서 검증하는 과정에서 이 수소가스에 전기충격을 가해 물을 생성하는데 성공하였다. 이 발견은 후에 그가 물(원소기호 H_2O)이 수소와 산소로 구성되었다는 사실을 발견하는데 중요한 밑거름이 되었다. 이후 1783년에는 프랑스의 물리학자인 Jacques Alexander Cesar Charles가 인류 최초의 무인 수소기구(hydrogen balloon flight)를 3킬로미터 상공까지 띄우는데 성공함으로써 수소의 에너지원으로서의 가능성을 증명하였으며, 1788년에는 프랑스의 화학자 Antoine Lavoisier가 그리스어로 '물'을 의미하는 "hydro"와 '생성되는'을 의미하는 "genes"을 결합한 "hydrogen"이라는 이름을 수소에 부여, 수소가 정식으로 새로운 원소로 등재되었다.

근대 이후에도 수소를 에너지원으로 활용하기 위한 다양한 시도는 계속되었는데, 일례로 1920년대 영국의 과학자인 J.B.S. Haldane은 그의 한 논문(Science and the Future)을 통해 재생가능수소의 개념을 제안한 바 있으며, 1937년에는 수소가스를 연료로 하는 비행기인 Hindenburg호가 미국과 독일을 왕복하는 10차례의 시험비행 끝에 뉴저지의 Lakewood에 착륙하는 과정에서 폭발한 바 있다. 또한 1972년에는 미 UCLA대가 수정·고안한 수소기반 자동차인 「1972 Gremlin」이 도시자동차설계공모 배기가스배출절감부문에서 1등을 차지, 저공해 에너지원으로서의 수소의 잠재력을 증명하였다.

그러나 본격적으로 수소에너지에 관한 관심이 촉발된 것은 1973년 시작된 석유파동부터이다. 이후 전 세계 많은 국가들이 저렴한 가격으로 석유공급을 받는 것이 현실적으로 어려워졌다는 점을 인식하게 되면서부터 상업적인 용도로 활용할 수 있는 수소연료전지의 개발 관련 노력이 본격화 되었다. 이와 관련, 1974년에는 플로리다 마이애미대(Univ. of Miami)의 T. Nejat Veziroglu 교수가 수소에너지 관련 최초의 국제학술대회인 수소에너지경제학술대회(THEME: The Hydrogen Economy Miami Energy Conference)를 개최하였으며, 이를 계기로 같은해 THEME 학술대회에 참석한 학자들과 기술자들을 주축으로 국제수소에너지협회(IAHE: International

Association for Hydrogen Energy)가 출범하였다.

미국 내에서는 1977년 에너지부(DOE)가 창설되면서 다음해인 1978년 기존에 연방수소R&D 프로그램에 대한 관리·감독권이 기존의 NSF로부터 에너지부(DOE)로 이관되었으며, 1989년에는 미수소에너지협회(NHA: National Hydrogen Association)가 창설되었다. 또한 1990년 미 연방의회는 5개년 수소R&D프로그램 및 관련자문위인 HTAP (Hydrogen Technical Advisory Panel)의 설립과 운영에 관한 법인 수소에너지 관련법(Spark M. Matsunaga Hydrogen, Research, Development and Demonstration Act)을 승인하였으며, 1992년 클린턴 행정부 하에서는 수소를 포함하는 대체연료를 기반으로 하는 새로운 형태의 자동차 개발을 목적으로 하는 정부와 자동차 산업부문간 파트너십인 PNGV (Partnership for a New Generation of Vehicles)가 출범하였다. 1995년에는 시카고교통청(Chicao Transit Authority)이 수소연료버스를 공개, 그 다음해부터 정식운행을 시작한 바 있다.

2000년대에 들어 수소에너지에 대한 미 연방정부의 관심은 더욱 가속화, 2002년에는 GM과 포드, 크라이슬러 등 미 주요 자동차생산기업과 에너지부(DOE) Spencer Abraham 장관이 공동으로 승용차 및 경량트럭 대상 수소연료전지 자동차 개발을 목적으로 하는「Freedom CAR」프로그램의 시행을 발표하였으며, 2003년에는 부시 대통령이 국정연설을 통해 총예산 1.2십억불의 수소에너지사업계획을 공표, 오바마 대통령이 취임한 현재까지도 관련 프로그램이 지속적으로 운영되고 있어 미 연방정부의 수소에너지에 대한 높은 관심을 반영하고 있다.

2. 미국의 수소에너지 현황 및 특징

가. 수소에너지 시장현황 및 전망

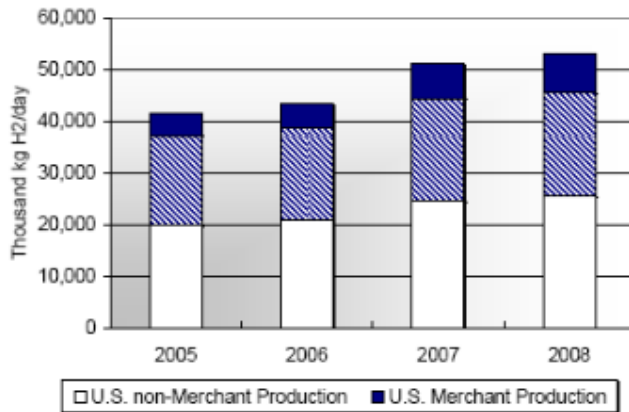
1) 수소에너지 생산과 수송

수소는 자연 상태에서 다른 원소와 결합하여 광범위하게 존재하는 원소이다. 이 때문에 천연가스, 물, 바이오매스, 석탄 등 다양한 물질로부터 분리추출이 가능하며, 이 과정에서 다양한 에너지원(풍력, 태양력, 석탄, 천연가스, 원자력 등)이 사용될 수 있다는 특징이 있다.

2006년 기준으로 전 세계에서 연간 생산되는 수소의 양은 약

48십억킬로그램에 달하며, 이 중 대부분이 암모니아 생산, 석유정제, 금속 및 식품 처리 등과 관련한 산업용으로 사용된다. 미국의 경우 2008년 한해동안 20십억킬로그램 이상의 수소가 생산된 것으로 추산되고 있으며, 대부분이 산업용으로 소비되었다. 아래 <그림 1>에서는 미국 내 1일 수소생산량 및 산업용/비산업용 수소 소비량의 비중을 도식화하고 있으며, 이 때 빗금으로 표시된 부분은 자료 출처별로 상이한 산업용 수소생산량 추정치를 나타낸 것이다.

<그림 1> 미 1일 수소생산량 (2005-2008)



* 출처: NHA (2010: 4)

한편, 수소에너지 수송(delivery)은 크게 i) 실린더 및 트럭, ii) 파이프라인, iii) 생산지 소비(onside production) 등 세 가지로 나뉘어지는 바, 먼저 실린더 및 트럭을 통한 수송의 경우 주로 철강으로 만들어진 실린더에 담긴 수소의 경우 소규모 단위로 수송되어 운송이 용이하고 주로 개인이 약 한 달간 사용할 수 있는 소량의 수소(0.5~50킬로그램)를 응축기체의 형태로 실린더에 담아 수송·판매하는 경우이다. 이 때 실린더의 크기는 크게 "K(200)" 혹은 "T(300)" 실린더라고 불리는 두 가지 형태로 나뉜다 (<표 1>).

<표 1> 산업용 수소 판매를 위한 두 가지 실린더 유형

	Size	Water capacity (l)	Pressure (psi)	Capacity (kg)	Capacity (scf)	Empty Weight (lbs)	Runtime @ 5 kW (hrs)
1 cylinder	200 or K	43.8	2265	0.463	196	124	1.59
1 cylinder	300 or T	49.6	2400	0.617	261	155	1.91

* 출처: NHA (2010: 5)

이밖에 보다 대용량(50킬로그램 이상)의 수소 수송을 위해서는 튜브

트레일러 혹은 액체탱크트럭이 사용되는 것이 보편적이며, 이 경우 각 트레일러나 탱크트럭에 실을 수 있는 수소량은 다양해질 수 있다. 이와 관련, <표 2>는 가장 보편적인 수소 판매 유형을 용량에 따라 요약·정리하고 있다:

<표 2> 판매용 수소의 용적 단위

	Size	Capacity (kg)	Capacity (scf)	Runtime @ 5 kW (hrs)
1 cylinder	200 / K	0.463	196	1.59
1 cylinder	300 / T	0.617	261	1.91
6 cylinders	200 / K	2.780	1,176	9.54
6 cylinders	300 / T	3.702	1,566	11.46
12 cylinders	200 / K	5.560	2,352	19.08
12 cylinders	300 / T	7.404	3,132	22.92
18 cylinders	200 / K	8.340	3,528	28.62
18 cylinders	300 / T	11.11	4,698	34.38
72 cylinders	300 / T	44.43	18,792	Almost 6 days
Tube Trailer		165.5	70,000	About 20 days
Liquid Trailer		2,800	1,200,000	About 1 year

* 출처: NHA (2010: 6)

둘째로 파이프라인을 이용한 수소 수송은 주로 소비지가 수소에너지 생산시설과 인접하여 있고 파이프라인 연결비용이 사용량 대비 비용효율성이 있을 때 주로 사용되는 방법으로, 이 경우 수소파이프라인 건설에 드는 비용은 1마일 당 약 1백만달러로 매우 비싼 편이다. 2006년과 2009년 조사 결과 미국 내 대부분의 수소 파이프라인은 텍사스와 루이지애나 등 두 곳(state)에 밀집되어 있는 것으로 나타났으며, 이는 대부분의 산업용 수소가 석유정제에 사용되며 이 두 곳이 미국 석유정제산업의 중심지라는 사실에 기인한 것으로 보인다 (<표 3>).

<표 3> 미국 내 수소 파이프라인 설치 현황 (각 주별, 2006년 및 2009년)

State	Miles of Hydrogen Pipeline	
	2006 ²⁰	2009 ²¹
Texas	848	882
Louisiana	290	232
Alabama	31	30
Indiana	15	14
California	13	13
Michigan	7	10
West Virginia	7	7
Utah	[unknown]	4
Ohio	2	6
New York	1	3
Delaware	1	[unknown]
Pennsylvania	[unknown]	1
TOTAL²²	1213	1202

* 출처: NHA (2010: 7)

마지막으로 생산지 소비의 경우 필요한 수소에너지를 자급자족하는 경우를 말하며, 이 경우 특히 최근 소규모 수소에너지 생산시설을 갖추는 데 드는 비용이 대폭 낮아짐으로써 실현가능해졌다. 아직까지 이와 같은 자급자족형 수소에너지 시장은 매우 작지만 지속적으로 성장하고 있으며, 이 부문은 뒤의 분산형 생산(Distributed Production)에서 보다 자세히 다룬다.

수소에너지의 생산과 수송은 또한 집중형 생산(Centralized Hydrogen)과 분산형 생산으로도 분류할 수 있다. 집중형 생산의 경우 현재 미국 내 4개의 산업용 가스생산기업이 미국 수소에너지 시장의 대부분을 점유하고 있으며, 이들이 생산하는 수소는 대부분 대규모 수증기 촉매 개질 공정(steam-methane reformer)을 거쳐 생산된 것이다.

이처럼 집중형 생산방식으로 생산된 수소는 그 판매 지역이나 수송비용, 수송유형(기체/액체), 순도(purity) 등에 따라 가격이 매우 다양할 수 있으며, 평균 23,623 킬로그램/월 이상을 소비하는 소비자들의 경우 집중형 생산 수소 보다는 생산지 소비 혹은 분산형 생산을 택하는 경향을 볼 수 있다. 수소에너지 판매 가격과 관련, 다음의 <표 4>와 <표 5>에서는 각각 액체형과 기체형 수소에너지 판매 표준 가격을 지역과 용량에 따라 보여준다:

<표 4> 액체형 수소에너지 판매 가격

Liquid H ₂ Pricing (ccf)			Liquid H ₂ Pricing (kg)		
Volume Range (scf/mo)	East	West	Volume Range (kg/mo)	East	West
100,000 – 300,000	\$1.65	\$2.40	236 – 709	\$6.98	\$10.16
300,001 – 600,000	\$1.50	\$2.20	709 – 1,418	\$6.35	\$9.31
600,000 – 1,000,000	\$1.35	\$1.90	1,418 – 2,363	\$5.71	\$8.04
1,000,000+	\$1.15	\$1.65	2363+	\$4.87	\$6.98

* 출처: NHA (2010: 11)

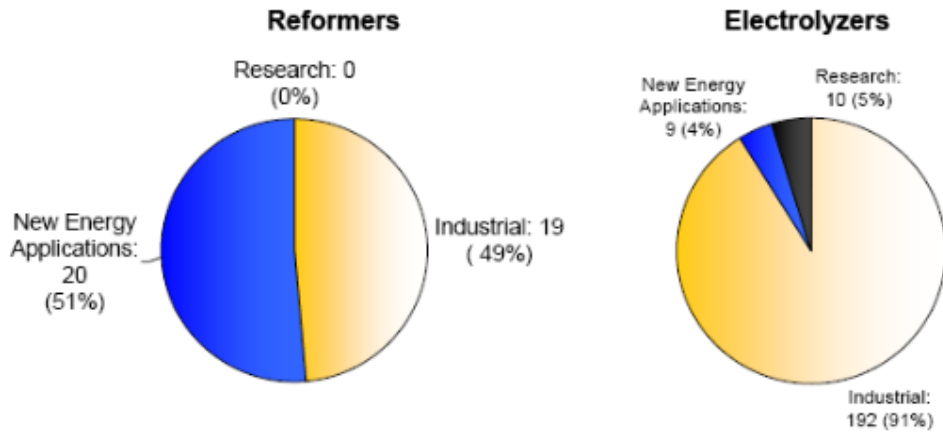
<표 5> 기체형 수소에너지 판매 가격

Gaseous H ₂ Pricing (ccf)			Gaseous H ₂ Pricing (kg)		
Volume Range (scf/mo)	East	West	Volume Range (kg/mo)	East	West
50,000 – 100,000	\$4.35	\$4.65	118 – 236	\$18.41	\$19.68
100,001 – 200,000	\$4.15	\$4.45	236 – 473	\$17.56	\$18.83
200,001 – 300,000	\$3.95	\$4.25	473 – 709	\$16.72	\$17.99

* 출처: NHA (2010: 11)

한편, 분산형 생산의 경우 미 수소에너지협회(NHA)의 설문조사 결과를 바탕으로 하였으며, 크게 전해조(electrolyzer)를 이용한 생산과 개질기(reformer)를 이용하는 경우의 두 가지로 나뉜다. 두 경우 모두 2002~2008년 사이 그 비중은 작지만 지속적인 성장세를 보이고 있다. 전해조의 경우 캘리포니아 주와 오하이오 주에서 강세를 보이고 있으며(1일 수소생산량 20킬로그램 이상), 개질기의 경우 펜실베이니아 주에서 많이 사용되고 있다 (1일 수소생산량 200킬로그램 이상). 한편 두 가지 서로 다른 형태의 수소 생산방식은 용도별로도 큰 차이를 보이는바, 개질기의 경우 산업용과 신규 에너지어플리케이션을 위해 설치·활용되는 경우가 비슷한 비중을 차지하고 있는 반면 전해조의 경우 산업용의 비중이 압도적인 것으로 나타났다 (<그림 2>).

<그림 2> 용도별로 본 전해조와 개질기 설치 현황 (2002-2008)



* 출처: NHA (2010: 11)

<그림 3> 재생가능에너지 기반 수소에너지프로젝트 현황 (2008년)



* 출처: NHA (2010: 23)

마지막으로 수소생산 에너지원을 기준으로 살펴볼 경우 2008년 현재 재생가능에너지(풍력, 태양력, 수력 및 녹색그리드, 바이오매스)를 기반으로 하는 진행 중인 수소에너지 생산프로젝트는 총 27개 지역 내 30건으로, 이 중 절반 이상인 17건이 캘리포니아 주에, 7건이 미 북동부 지역(메릴랜드와 DC 포함 미 북동부 12개 주)에 분포하고 있는 것으로 나타났다. 이들 프로젝트들은 대부분 연구 및 실험용 혹은 검증(demonstration)을 목적으로 하는 시간당 3킬로그램 이하의 소규모 생산 설비들이다 (<그림 3>).

2) 수소에너지 소비

다음으로 수소에너지 소비용도는 크게 산업용과 에너지용(주로 자동차)의 두 가지로 나뉘며, 최근 에너지용 소비가 크게 늘고 있는 것이 특징이다. 먼저 산업용과 관련, 과거 몇 십년간 수소는 주로 석유 정제나 암모니아 생산, 금속이나 전자제품, 혹은 음식물 생산 등 다양한 산업부문에서 사용되어왔으나 최근 석유정제를 제외한 타 산업부문 (특히 암모니아와 메탄올 생산) 내 수소 소비가 급격히 감소하고 있다 (<표 6>).

<표 6> 주요 산업용 수소소비 현황 비교 (산업전체 및 도매, 2003-2006)

	Total		Merchant	
	2003	2006	2003	2006
Petroleum Refining	10,960	12,737	2,395	3,218
Chemicals Production	9,543	6,501	647	692
Metals	128	149	125	145
Other	127	124	83	88
TOTAL	20,758	19,510	3,250	4,143

* 출처: NHA (2010: 24)

에너지용과 관련, 최근 일부 자동차와 버스들이 수소를 동력원으로 이용하고 있으며, 2008년 현재 경차(LDV: light-duty-vehicle) 210여대가 미국 내에서 운행 중이다. 그러나 1대당 평균 운행거리는 5,400마일로 2007년 일반 승용차의 연간 평균 주행거리인 12,293마일의 약 절반 수준에 그치고 있다. 또한 이들 중 대부분(90퍼센트)이 압축가스형태의 수소를 채워 넣은 연료전지를 사용, 액체수소에 비해 월등한 비중을 차지하고 있다. 수소기반경차(LDV)의 운전자 수도 2008년 현재 8,700여명 정도로 이들 중 대부분이 테스트 운전자이거나 혹은 리스계약 고객인 것으로 추산되고 있다. 또한 이들이 1년간 미국 내에서 수소충전소에서 충전을 한 횟수는 약 1만 1천여번으로, 소비된 수소는 26,000킬로그램이었다. 반면 버스 등 HDV (heavy-duty vehicle), 즉 자동차 총중량 19,501 파운드 이상의 차량의 경우 2008년 현재 미국 내에서 운행 중인 경우는 총 12대에 불과하였다. 그러나 이들이 소비한 수소는 28,740킬로그램으로 LDV 210대의 연간소비량을 초과하였다.

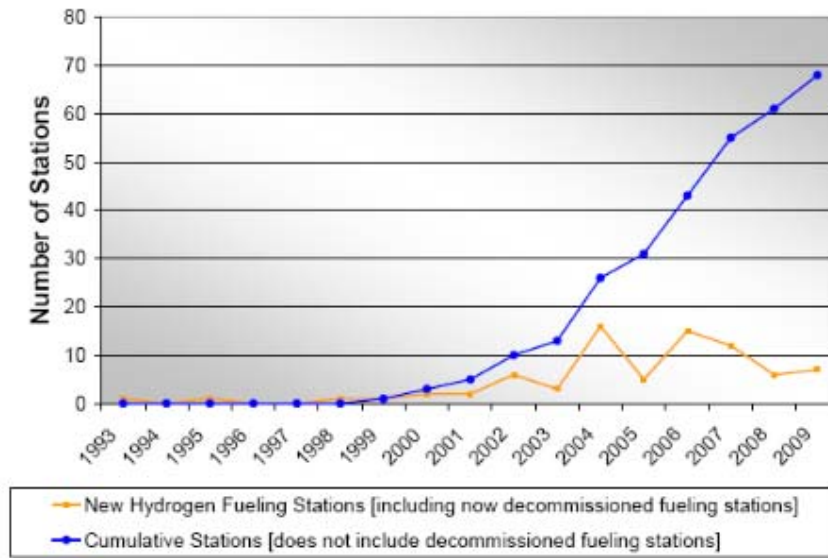
한편, 수소충전소와 관련, 2009년 10월 말 현재 북미 지역 내 운영 중인 공·사 수소충전소는 총 76개(미국 내 61개, 캐나다 내 16개)로, 지리적 분포 및 누적 추이는 아래와 같다:

<그림 4> 미국 내 수소충전소 분포 현황 (2009년 10월 말 현재)



* 출처: NHA (2010: 31)

<그림 5> 미국 내 수소충전소 신규 및 누적건설현황 (1993-2009)

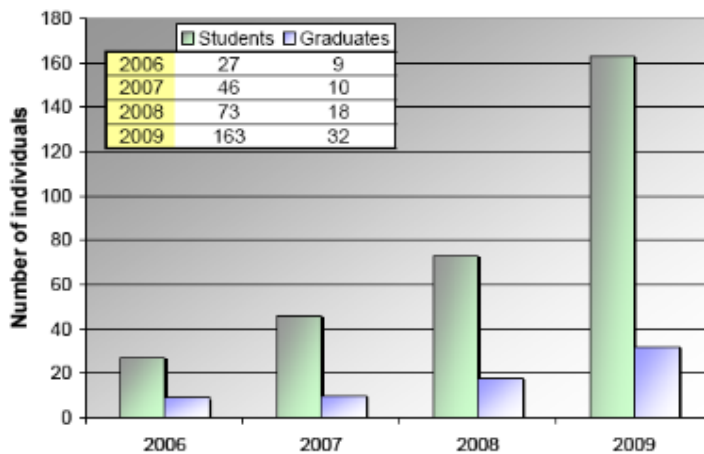


* 출처: NHA (2010: 32)

3) 수소에너지 관련 교육 및 취업 현황

수소에너지 산업이 성장을 거듭하고 있음에 따라 관련 학위 혹은 특별과정을 개설하고 있는 학교들 또한 증가추세에 있다. 2009년 현재 수소에너지 관련 특화과정(specialized degree programs)에 등록된 대학생 수는 163명으로 2006년 27명에서 대폭 증가하였으며, 대학원생 수 또한 늘어났다:

<그림 6> 수소 및 연료전지 관련 전공 학생 증가 현황 (2006-2009)

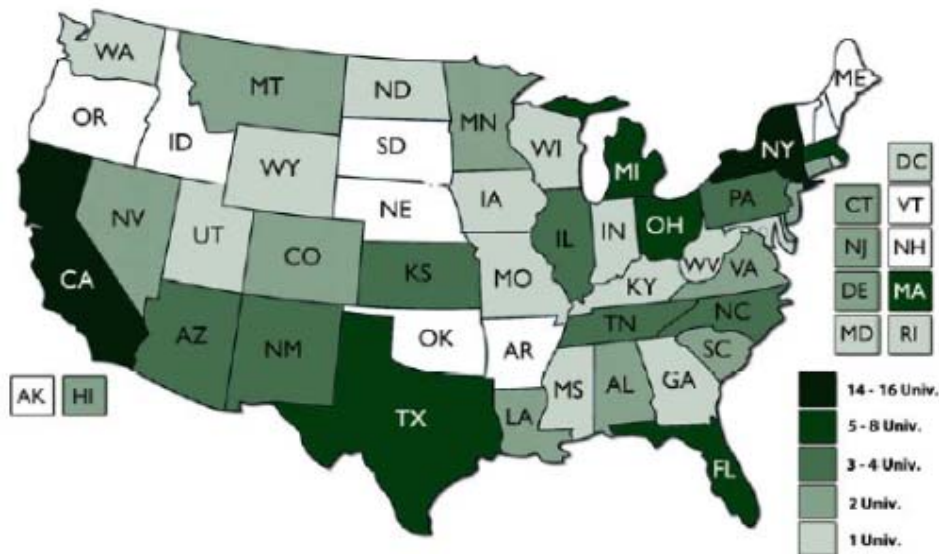


* 출처: NHA (2010: 38)

지역별로 수소에너지/연료전지기술 관련 과목을 개설하고 있는 학교

수를 살펴본 결과 캘리포니아와 뉴욕 주가 14-16개로 월등하였고, 텍사스와 플로리다, 오하이오, 미시간, 매사추세츠 주 등지에서도 5-8개 대학이 관련 과목을 개설·제공하는 것으로 나타났다 (<그림 7>).

<그림 7> 지역별 수소에너지/연료전지 관련 과목개설 현황



* 출처: NHA (2010: 39)

한편, 수소에너지 산업과 관련, 해당 부문에 약 2,300여명의 인력(full-time 기준)이 고용되어 있는 것으로 추정되었으며, 이밖에 전해조(electrolyzer) 및 개질기(reformer) 부문에 527명, 자동차 산업부문에 800여명 등을 포함, 수소 관련 산업에 총 6,777명이 종사하고 있는 것으로 나타났다.

<표 7> 미 수소 및 관련 산업 고용 현황 (2008년)

U.S. Jobs in select sectors of the hydrogen industry	
Merchant Hydrogen Production	2,300
Electrolyzer and Reformer Manufacturers	527
Automobile Industry	800
Stationary and Material Handling Fuel Cell Manufacturing ⁸⁷	850
University (research and teaching)	2,300
Total Jobs Related to H₂ in the Categories Included in Report	6,777

* 출처: NHA (2010: 40)

4) 향후 산업 전망

비록 현재까지 수소 산업이 미 경제 내에서 차지하는 비중은 매우 작지만, 해당 산업의 향후 전망은 매우 밝다. 현재 다수의 수소 관련 기술이 상업화 바로 직전 단계까지의 진전을 보이고 있으며, 2008년 에너지부는 미 고용전망 보고서에서 미 수소 산업 내 순취업증가(net employment increase)가 2020년에는 58,010~182,840명, 2050년에는 360,740~674,500명에 이를 것이라고 예상한 바 있다. 또한 2009년과 2010년 완료 예정이거나 진행 중인 재생가능에너지원 기반 수소프로젝트 및 수소충전소 또한 다수 존재, 미국의 수소기반경제 실현 전망을 밝게 하고 있다.

나. 주요 관련 기구

1) 에너지부 EERE (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy)

(1) 개관

에너지부 내 에너지효율성및재생가능에너지국(EERE)는 미국의 에너지 안보, 환경보호, 공사파트너십의 경제적 활성화 등을 목적으로 하는 조직으로, i) 에너지효율성 및 생산성 제고, ii) 깨끗하고 믿을 수 있는 에너지의 저렴한 제공, iii) 삶의 질 향상 및 사용 가능한 에너지 선택폭의 확장을 통한 미 국민의 복지 증진 등과 관련한 다양한 활동을 통하여 위의 조직 미션 달성을 위해 노력하고 있다.

EERE는 다음과 같은 10개의 에너지 관련 프로그램을 중심으로 조직되어 있으며, 이중 수소 에너지와 관련한 프로그램으로는 수소에너지 및 연료전지 관련 R&D를 동시에 진행하는 "Hydrogen, Fuel Cells and

Infrastructure Technologies" 프로그램이 있다. 이밖에도 EERE는 같은 에너지부 산하의 Golden Field Office 및 에너지부 소속 국가연구소(National Laboratories)와 다양한 분야에서 긴밀한 협력관계를 유지하고 있다:

- Biomass Program
- Building Technologies Program
- Federal Energy Management Program
- Geothermal Technologies Program
- Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructure Technologies Program**
- Industrial Technologies Program
- Solar Energy Technologies Program
- Vehicle Technologies Program
- Wind and Hydropower Technologies Program
- Weatherization and Intergovernmental Program

(2) 수소에너지/연료전지기술프로그램

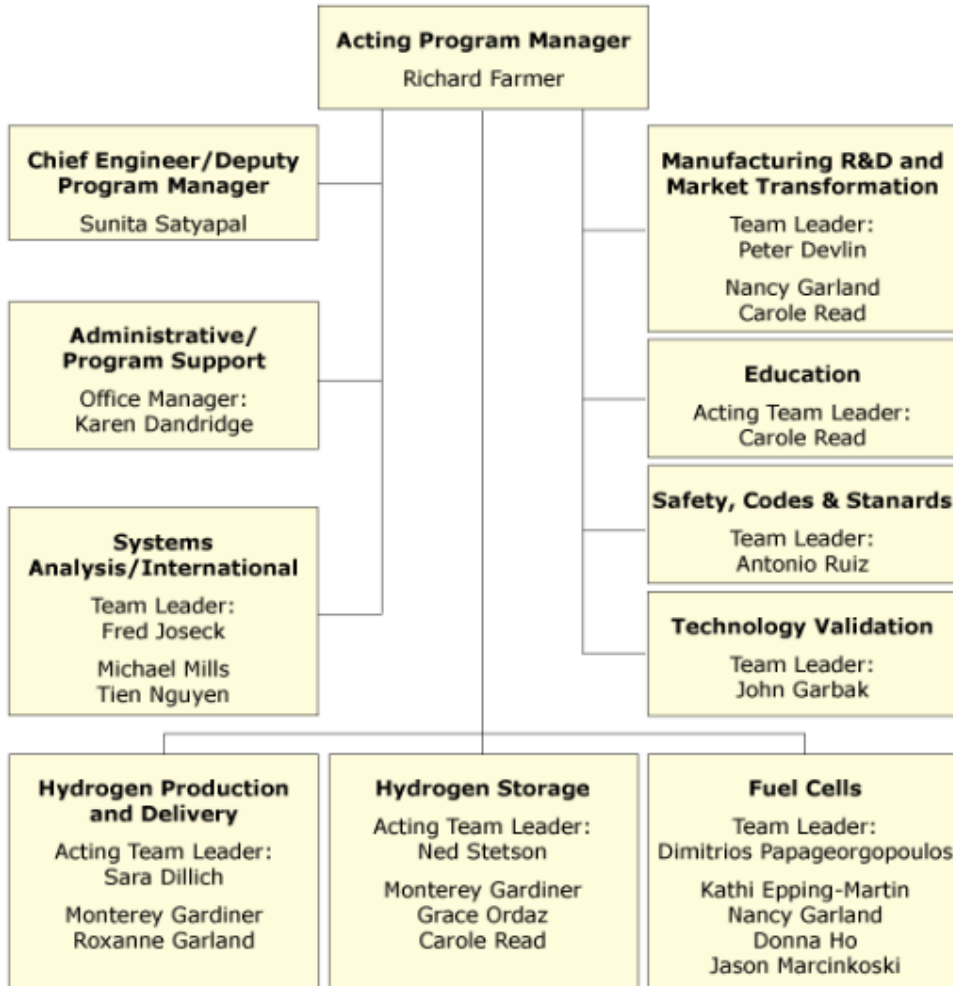
EERE 내부에서 운영하고 있는 수소에너지/연료전지기술프로그램은 미국이 현재 직면하고 있는 에너지 보안 및 환경 관련 이슈 및 잠재적 위협을 타개하기 위한 목적을 띠고 있으며, 시장 내 수소에너지 및 연료전지 관련 기술의 개발 및 선진화와 관련된 다양한 활동을 수행하고 있다. 특히 에너지부는 연방의 수소 및 연료전지 관련 R&D의 방향을 제시하고 관련 활동을 통합하는 데 있어서 주도적인 역할을 담당하는 기관으로, 이러한 에너지부의 위상과 관련, 수소에너지/연료전지기술프로그램 또한 에너지부 내 거대부처사업인 에너지부 수소프로그램 (Hydrogen Program)의 주요 R&D 활동을 조정(coordinate)하는 역할을 수행한다.

수소에너지/연료전지기술프로그램은 국가수소에너지로드맵과 HPP (Hydrogen Posture Plan) 등을 바탕으로 관련 학계와 산업계, 국가연구소 등과의 다양한 연계를 통하여 구체적으로 i) 수소생산·수송·저장기술 및 연료전지 기술 관련 R&D의 수행을 통한 기술적 장애물 극복, ii) 수소 생산 및 소비 관련 기술표준 및 규제(model codes), 기타 각종 안전장치의 마련, iii) 이해관계자 집단의 수소 및 연료전지 관련 기술수용성 향상을 위한 교육·훈련활동 등을 수행하고 있다.

프로그램 관련 주요 분야로는 수소생산, 수송, 저장, 연료전지,

기술타당화(technology validation), 안전성 및 표준(safety, codes & standards), 교육/훈련, 시스템 분석(system analysis) 등 총 8가지가 있으며, 각 분야는 프로그램 책임자(Acting Program Manager)의 지휘 하에 팀별로 운영된다.

<그림 8> EERE 수소에너지/연료전지기술프로그램 조직도



* 출처: EERE 수소에너지/연료전지기술프로그램 웹사이트

프로그램 예산과 관련, EERE의 FY2011 프로그램 예산요청액은 137백만불이며, 이 중 연료전지시스템R&D가 67백만불, 수소연료 R&D가 40백만불, 기술타당화 11백만불, 시장화(market transformation) 9백만불, 시스템분석 5백만불, 제조생산(manufacturing) 관련 R&D 5백만불을 기록하였다. 분야별 주요활동 및 최근 예산변동 추이는 아래 <표 8>에서 요약하였다:

<표 8> EERE 수소에너지/연료전지기술프로그램 분야별 예산변동추이
(단위: 백만달러)

주요 분야	FY'06	FY'07	FY'08	FY'09	FY'10
수소생산/수송R&D	84	33.7	38.6	100	15.0
수소저장R&D	26.0	33.7	42.4	57.8	32.0
연료전지부품R&D	30.7	37.1	42.3	61.1	62.7
기술타당화	33.3	39.4	29.6	14.8	13.1
교통연료전지시스템	1.1	7.3	7.7	6.4	3.2
송전용연료전지시스템	0.9	7.3	7.5	9.8	11.4
연료처리기R&D	0.6	4.0	2.9	2.8	0.2
안전규제/표준	4.6	13.5	15.4	12.2	8.8
교육	0.5	2.0	3.9	4.2	2.0
시스템분석	4.8	9.6	11.1	7.52	5.6
시장화	0	0	0	4.7	15.0
제조생산R&D	0	1.9	4.8	4.6	5.0

주1) 수소기술 관련 예산 총액(2007회계연도의 경우 SBIR 프로그램 및 STTR 관련 예산 포함 금액): FY2006 153.451 백만불; FY2007 189.511백만불; FY2008 206.241백만불; FY2009 195.865 백만불; FY2010 174.0 백만불

출처: EERE 수소에너지/연료전지기술프로그램 웹사이트

2) 에너지부 수소/연료전지기술 자문위원회 (HTAC)

2005년의 에너지법 Section 807에 근거하여 2006년 6월 본격적으로 출범한 HTAC(Hydrogen and Fuel Cell Technical Advisory Committee)는 아래의 국가연구위(NRC: National Research Council)와 함께 에너지부의 수소에너지프로그램 내 연구와 개발, 그리고 각종 검증(demonstration) 관련 활동에 대한 기술적·프로그램 일반 관련 권고안을 제시하는 역할을 담당한다.

2006년 설립 당시 HTAC의 위원은 총 25명으로 구성되었으며, 대부분의 위원들은 미국 내 관련 산업계와 학계, 전문가 단체, 정부 관련 부처, 금융 기구, 환경단체 대표 등과 수소에너지 안전성 관련 전문가 등이다. FY2009 현재 소속된 위원 수는 총 20명이다. 위원들은 연간 2회 (회당 평균 1~1.5일)의 정기회의에 참석하는 한편, 부정기적으로 위원회 관련

활동(sub-committee action items)을 수행한다. 한편, HTAC의 전신으로는 「Spark M. Matsunaga Hydrogen Research, Development, and Demonstration Act of 1990 (P.L. 101-566)」에 근거하여 수립되었던 HTAP (Hydrogen and Fuel Cell Technical Advisory Committee)가 있으며, HTAP는 1991년부터 2002년에 걸쳐 활동한 바 있다.

3) 국가연구위 (NRC)

국립과학아카데미(National Academy of Sciences) 또한 소속 기관인 국가연구위(NRC)를 통하여 에너지부의 수소에너지 프로그램 내 연구 및 검증 세부 프로그램을 평가하고 평가 결과를 바탕으로 권고안을 제시하는 역할을 수행한다. NRC는 매 4년 주기로 에너지부의 수소에너지 관련 RD&D (Research, Development, and Demonstration) 프로그램에 대한 외부 평가를 담당하고 있으며, 바로 앞에서 언급된 HTAC와 함께 에너지부 수소에너지 프로그램의 자문위원회(Advisory Panel) 기능을 수행한다.

NRC의 법적 근거는 HTAC와 마찬가지로 에너지정책법(Energy Policy Act of 2005)이며, 에너지부 수소에너지 프로그램 관련 NRC의 최근 보고서로는 2008년 출간된 「FreedomCAR 및 연료파트너십 연구 프로그램 평가 (Review of the Research Program of the FreedomCAR and Fuel Partnership: Second Report)」, 2005년 출간된 「에너지부 응용에너지R&D 평가 (Prospective Evaluation of Applied Energy Research and Development at DOE, Phase One)」 등이 있다.

다. 수소에너지 관련 주요 법령 및 정책

1) 에너지정책법

2005년 8월 8일 부시 전 대통령이 서명함으로써 최종 확정된 에너지정책법 (Energy Policy Act of 2005)은 미국의 에너지 정책과 관련, 다양한 유형의 에너지 생산에 대하여 각종 세제혜택 및 정부지원을 보장함으로써 미국 내 에너지 관련 문제의 해결을 목적으로 하는 법이다.

특히 에너지정책법의 Title VIII은 수소에너지에 관한 부분으로 수소및연료전지프로그램 관련 일반 사항, 프로그램의 목적 및 각종 용어 정의, 관련 계획, 세부 프로그램, 관련 태스크포스 및 기술자문위 등에 관한

내용을 포함하고 있으며, 이밖에도 태양에너지 및 풍력에너지에 대한 내용 뿐 아니라 상업화 과정에 있어서의 기술이전, 비용분담 등에 관한 법적 규정 또한 담고 있다. 이 법은 또한 앞서 언급된 바 있는 에너지부 EERE 내 수소·연료전지프로그램 기술자문위 (HTAC)의 창설 및 운영, 활동범위 등을 규정하고 있는 근거법령이기도 하다.

2) 국가수소에너지로드맵

2002년 11월에 공개된 국가수소에너지로드맵(National Hydrogen Energy Roadmap)은 수소에너지 개발 관련공공부문 및 민간부문의 다양한 노력들을 장기적 관점에서 통합하고 보다 효과적으로 조정하기 위한 목적으로 수립되었다. 이 로드맵은 같은 해 4월에 Washington D.C.에서 개최된 국가수소에너지로드맵워크숍에서 논의된 주요 내용을 바탕으로 작성되었으며, 수소에너지의 생산과 수송, 저장, 융합, 응용 등 수소에너지 생산 및 소비 관련 주요 활동 뿐 아니라 수소에너지 관련 민간의 인식 제고를 위한 교육과 홍보(outreach)에 관한 내용 또한 포함하고 있는 것이 특징이다. 이 로드맵은 또한 연방부처의 R&D 활동이나 상업화 촉진 등에 관한 구체적인 내용을 담기 보다는 미국의 에너지 안보 및 다양성, 환경 관련 이슈의 해결과 관련한 수소에너지의 잠재적 가능성을 식별하고, 이러한 가능성을 극대화하기 위해 필요한 다양한 분야의 활동을 제시하는데 중점을 두고 있다.

로드맵에서는 크게 i) 시스템 통합, ii) 수소에너지 생산, iii) 수소에너지 수송, iv) 수소에너지 저장, v) 수소에너지 전환(conversion), vi) 어플리케이션, vii) 교육 및 홍보 등 일곱 가지 분야별로 그 중요성을 설명하고, 해당 분야별로 현재 당면하고 있는 과제들이 무엇인지를 식별하는 한편, 향후 이러한 주요 과제들을 위하여 어떠한 활동들이 어떠한 방향으로 이루어져야 하는지에 대한 권고안 등을 미래지향적으로 제시하고 있는 것이 특징이다.

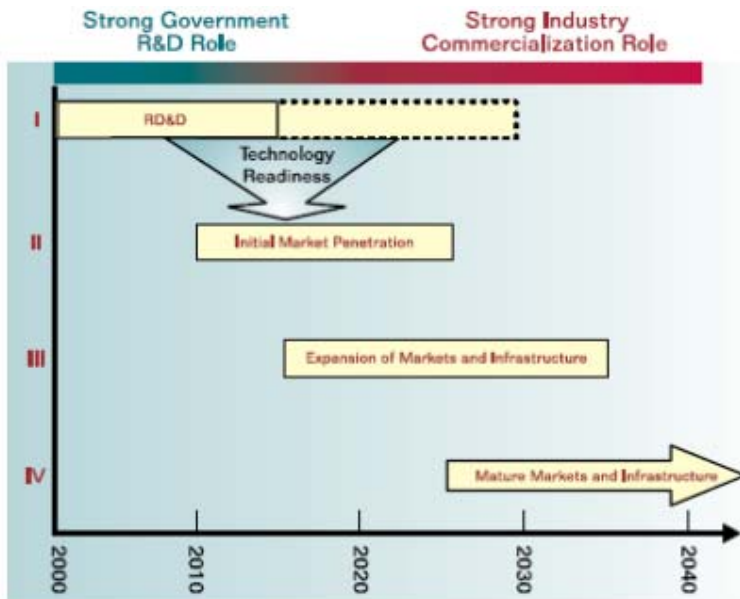
3) Hydrogen Posture Plan

2006년 12월에 공개된 바 있는 HPP (Hydrogen Posture Plan)는 2004년 2월에 최초로 공개된 바 있는 HPP의 업데이트 버전이라 할 수

있으며, 에너지부와 교통부가 주도하는 수소연료사업(HFI: Hydrogen Fuel Initiative) 관련 주요 활동을 효과적으로 조율하기 위한 목적을 띠고 있다. 한편, 에너지정책법 (Energy Policy Act of 2005) Section 804에 의하면 에너지부 장관은 연방의회에 에너지부의 수소 및 연료전지프로그램과 관련한 통합계획(coordinated plan)을 마련하여 제출하여야 할 의무가 있으며, HPP는 이러한 법적 의무와도 관련이 있다.

HPP는 에너지부(DOE) 내 EERE, 화석연료국, 과학국, 핵에너지과학기술국, 그리고 교통부(DOT)에 의해 공동으로 작성되었으며, 연방정부가 수소기반 에너지 시스템의 구축과 지원을 위해 계획하는 다양한 관련 활동 및 일정(milestones), 주요 내용 등을 개관하고 있다. HPP는 또한 2001년 11월 워싱턴 D.C.에서 개최된 국가수소비전회의(National Hydrogen Vision Meeting)의 주요 내용을 요약하는 한편 장기적 관점에서 국가 수소에너지 경제 실현 관련 비전을 제시하는 「National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy」 및 앞의 국가수소에너지로드맵 등과 관련, 에너지부의 수소에너지 R&D 관련 역할 및 나아갈 방향을 제시하고 있다.

<그림 9> 수소에너지경제 실현을 위한 단계별 실행계획 (HPP)



* 출처: U.S. DOE (2006: iv)

위의 <그림 9>를 통해 알 수 있는바와 같이 HPP는 2000년~2040년의

40년간 수소에너지 기술개발 및 상업화 관련 단계별 계획을 제시하고 있으며, 특히 2015년경까지 강력한 연방정부의 RD&D 관련 지원을 바탕으로 한 기술 개발이 이루어져야 함을 강조하고 있다. 이밖에도 HPP는 2000년 이후 지금까지 관련 프로그램의 성과를 개관하는 한편, 향후 실행되어야 할 구체적인 조치 및 계획들을 식별·제시하고 있다.

4) Multi-Year Research, Development and Demonstration Plan

MRDDP (Multi-Year Research, Development and Demonstration Plan: Planned Program Activities for 2005-2015)는 앞서의 주요 정책이나 계획 등이 연방정부 전체 차원의 수소에너지 관련 활동에 대한 내용을 포함하고 있는데 반해 EERE 내부의 수소에너지및연료전지기술프로그램에 관하여 2015년까지 계획된 연구개발 및 검증 관련 활동에 대한 내용을 담고 있는 보다 실무적인 계획이라 할 수 있다. MRDDP는 2003년 초안이 공개되어 2005년 최종본이 확정된 바 있으나 이후에도 몇 번의 수정을 거쳤으며, 특히 주요 기술 발전 상황 및 이를 바탕으로 수정된 향후 전망을 지속적으로 수정 반영하는 것이 특징이다. 현재 활용되고 있는 MRDDP는 분야에 따라 2007년 10월 혹은 2009년 4월 수정된 것이다.

라. 에너지부 수소에너지프로그램

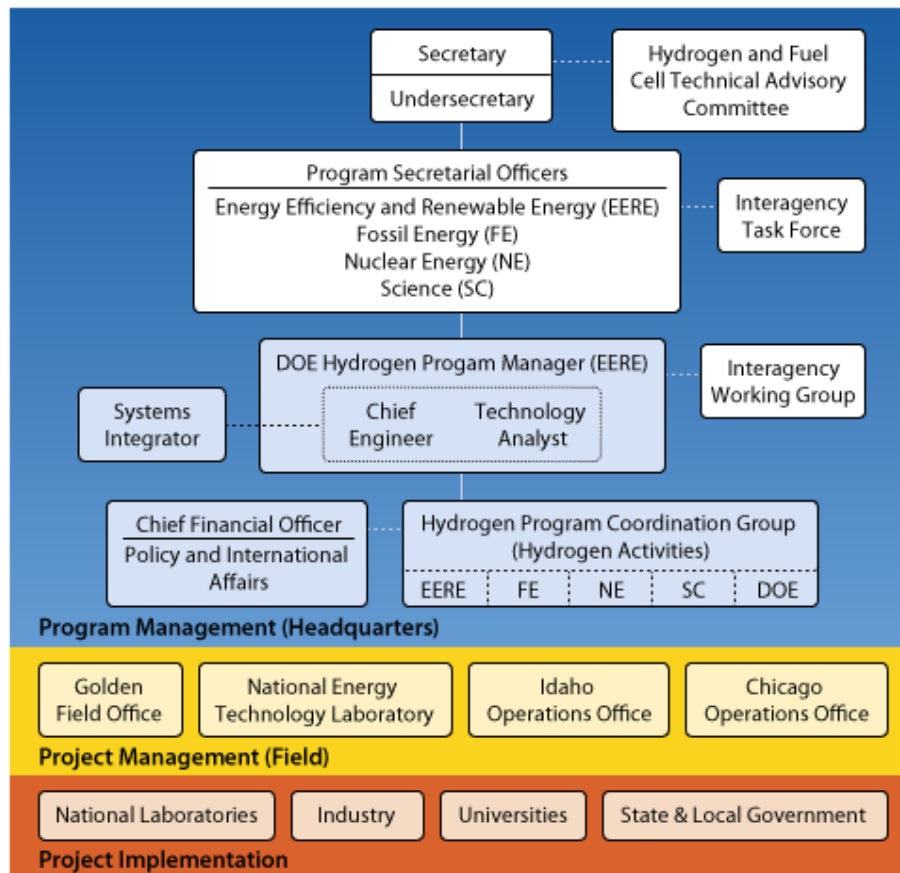
1) 프로그램 개관

2005년 에너지정책법은 타 연방 정부 기관 및 민간부문과의 협력 하에 에너지부 장관으로 하여금 에너지부 내 수소에너지 관련 R&D 프로그램을 창설하도록 하고 있으며, 수소에너지프로그램은 이를 근거로 창설되었다고 할 수 있다. 수소프로그램은 관련 산업계와 학계, 국가연구소, 타 연방부처 및 국제 관련 기구 등과의 연계 하에 i) 수소에너지 생산/수송/저장 기술 관련 R&D를 통한 관련 기술적 난제 극복, ii) 안전성 관련 우려 불식을 위한 관련 규제 및 표준 마련, iii) 실생활 내 수소 및 연료전지기술의 활용을 위한 각종 검증(demonstration & validation), iv) 주요 이해관계자들에 대한 교육·홍보활동을 통한 수소에너지 관련기술 수용 및

시장화 관련 인식 제고 등을 위한 다양한 활동을 수행하고 있다. 현재 에너지부 내 수소프로그램 참여조직으로는 앞의 EERE를 비롯, FE (Fossil Energy), NE (Nuclear Energy), Science (SC) 등 네 개의 사무국이 있다. 각각의 사무국은 국별 업무와 관련이 있는 수소기술 관련 활동을 운영·지원한다.

2) 프로그램 운영체계

<그림 10> 에너지부 수소에너지프로그램 조직도



* 출처: 에너지부 수소에너지프로그램 웹사이트

에너지부 수소에너지프로그램은 앞서 언급된 바와 같이 에너지부 내 4개 사무국을 중심으로 운영되며, 최종 책임은 에너지부 장관에 있다. 외부 자문위로는 정기적으로 외부평가를 실시하는 국가연구위(NRC)와 주로 기술적·프로그램 운영관련 자문과 조연을 담당하는 수소/연료전지기술 자문위(HTAC) 등 두 곳이 있다. 특히 수소에너지 프로그램의 경우 다양한 분야 전문가 및 단체, 이해관계자 등과의 협력 파트너십을 기반으로 하는

특징 때문에 기관 간 조정업무를 전담하는 두 개의 조직(IWG, ITF)이 존재한다. 먼저 IWG (Hydrogen and Fuel Cell Interagency Working Group)는 연방정부 전체 내 수소에너지 관련 R&D 관련 활동을 조정하는 지원조직(staff-level group)이다. IWG는 매달 정기모임을 개최, 조정기능 관련 성과에 대하여 토의하고 기술지식을 공유하는 한편, 파트너십의 효율적인 운영방안을 모색하기도 한다. IWG는 이밖에도 "http://www.hydrogen.gov/"라는 웹사이트를 운영, 에너지부의 수소에너지프로그램에 참여하는 각 연방부처의 주요 활동에 관한 정보를 제공하고 있다. 반면 ITF (Hydrogen and Fuel Cell Interagency Task Force)는 연방부처 내 수소에너지 프로그램 참여 기관들이 파견한 선임급 운영인력(senior-management level representatives)으로 구성되어있으며, IWG와 비슷하나 보다 상위 직급의 부처간 조정기능을 담당한다. IWG와 ITF에 참여하는 연방 부처로는 농무부(USDA), 상무부(DOC, 기술표준원 포함), 국방부(DOD), 교육부(ED), 에너지부(DOE), 국토안보부(DHS), 교통부(DOT), 환경청(EPA), NASA, 그리고 백악관 과학기술정책국(OSTP) 등이 있다.

3) 프로그램 예산

다음의 <표 9>는 에너지부 수소에너지 프로그램의 수소기술 및 연료전지 관련 예산 변화 추이를 FY2004부터 FY2011까지 보여주고 있으며, 이에 따르면 사무국별로는 EERE가 프로그램에 참여하는 4개 사무국 중 가장 많은 예산을 투자하고 있는 것을 볼 수 있다.

2011회계연도 예산과 관련해서는 i) 수소관련 R&D 예산 예년수준 회복, ii) 신규 하부 프로그램 신설 (연료전지시스템 R&D, 수소연료R&D, 시장화), 그리고 iii) 교육 및 early market fuel cells 관련 예산 축소·지연 등 세 가지 이슈가 중점적으로 논의된 바 있으며, 세부분야 별로는 수소생산비 절감 (gge 즉 gallon gasoline equivalent 당 2~3 달러 수준 실현), 1달러/gge 미만 수준으로의 수소 수송비 절감, 수소생산 R&D 관련 bio-derived liquid reforming 및 electrolysis, 수송 R&D 관련 glass-fiber composites 개발, 저장 R&D 관련 우수엔지니어링 센터 축소 및 우수재료센터(Materials Centers of Excellence) 운영 종료 등의 목표가 제시되었다.

<표 9> 에너지부 수소 및 연료전지 관련 예산 (FY2004-2011)

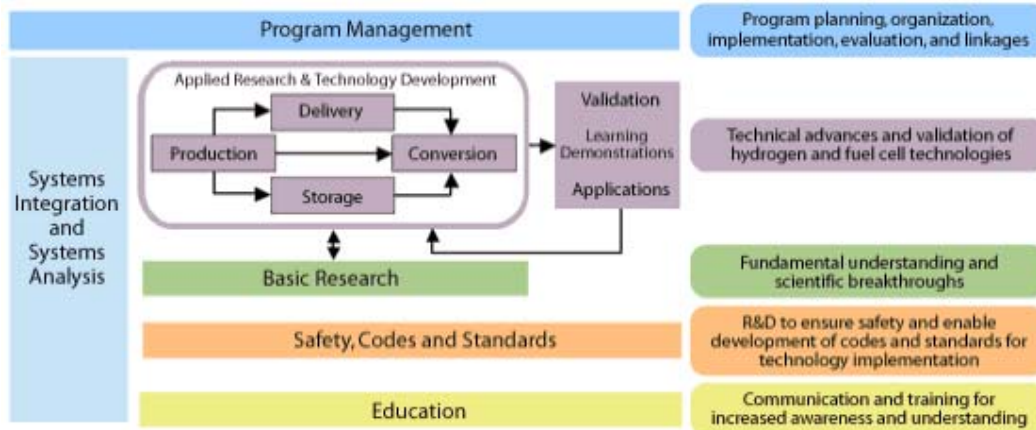
(단위: 천달러)

사무국	FY04	FY05	FY06	FY07	FY08	FY09	FY10	FY11 요청액
EERE	144,881	166,722	153,451	189,511	206,241	195,865	174,000	137,000
화석연료 (FE)	4,879	16,518	21,036	21,513	21,773	26,400	26,400	12,000
핵에너지 (NE)	6,201	8,682	24,057	18,855	9,668	7,500	5,000	미정
과학국 (SC)	0.0	29,183	32,500	36,388	36,484	38,284	38,284	38,000
합 계	155,961	221,155	231,044	266,267	276,481	268,049	243,684	미정

* 출처: 에너지부 수소에너지프로그램 웹사이트

4) 프로그램 주요 활동

<그림 11> 에너지부 수소에너지 프로그램 주요 분야



* 출처: 에너지부 수소프로그램 웹사이트

3. 미국의 최근 수소에너지 관련 주요 정책동향

가. 경기부양법(ARRA) 내 수소에너지 관련 내용

2009년 2월 17일 오바마 대통령에 의해 최종 확정된 경기부양법은 수소에너지 및 연료전지 기술 관련 다양한 정책 및 인센티브를 포함하고 있으며, 이러한 정책이나 인센티브는 크게 관련 연구보조금 지원과

수소에너지 및 연료전지 설치 및 활용 장려를 목적으로 하는 인센티브로 나누어 살펴볼 수 있다. 현재 EERE를 통한 연구보조금 지원은 이미 지급이 완료되었거나 아직 계획이 확정되지 않은 상태이며, 다만 2009년 4월 15일 에너지부는 총예산 41.9백만불의 경기부양법(ARRA) 관련 예산지원 계획을 발표, 주로 연료전지의 상업화 및 활용 촉진을 목적으로 산업계의 비용분담액 72.4백만불을 포함, 총 114.3백만불의 예산을 약 1천여개의 연료전지 시스템 수립 및 배치(deployment)에 지원한 바 있다.

경기부양법은 수소에너지 및 연료전지 관련 인센티브 몇 가지 또한 제공하고 있는바, i) 수소연료공급 설비 관련 세제혜택 적용금액 증가 (기존 30% 혹은 미화 3만불에서 30% 혹은 미화 20만불로 증가), ii) 연료전지 및 기타 관련기술 제조업을 위해 사용되는 설비 관련 30% 세제혜택 (tax credit) 신설, iii) 주거용 에너지효율성 증진 관련 투자세제혜택(ITC: Investment Tax Credit) 한도 증가 등이 대표적이다.

4. 한국과의 수소에너지 협력 현황 및 발전방안

한국의 수소에너지 기술경쟁력(6개 분야, 논문, 특허, 논문발표, 연구인력, 연구개발비, 인프라구축)을 비교한 연구보고서에 따르면 미국은 논문이외의 분야를 제외하고 모든 분야에서 1위를 차지하고 있으며 우리나라는 논문 4위, 특허 5위, 논문발표 5위, 연구인력 5위 등으로 수소에너지 분야의 기술 수준과 연구 인력 부문에서는 상당한 수준에 분석되었다. 하지만 연구개발비는 9위, 수소충전소는 12위로 상대적으로 낮은 수준을 나타내어 종합적으로 6위를 차지하였다. (독일 3위, 중국 4위, 캐나다 5위를 기록)

전 세계적으로 곧 화석에너지 시대는 저물고 수소에너지 시대가 다가올 것을 기정 사실화하여 선진국들은 다양한 형태의 수소 에너지 생산, 저장 및 인프라 구축을 위해 연구개발비 증액, 연구 인력 확대 및 정책적 지원을 아끼지 않고 있다. 모든 선진국들은 정책적으로 기술개발으로 종합적이고 장기적인 계획 아래 수소에너지 경제로의 이전을 추진하고 있다.

이러한 중요성으로 감안하여 한국 정부는 과학기술부 주관의 수소에너지연구단 및 지식경제부 주관의 수소연료전지사업단을 발족하여 수소에너지 경쟁력 확보를 위해 노력하고 있다.

이웃하고 있는 중국과 일본이 종합적으로 앞서고 있으며 미국의 기술력을 1로 보았을 때 일본은 0.6을 기록하고 있는 반면 한국의 경우는 0.06의 저조한 기술력을 나타내고 있다. 이러한 기술적인 격차를 따라가기 위해서는 한미간 정부간의 긴밀한 기초 분야의 공동 연구가 절실한 시점이다. 공동 연구 프로그램 개발 및 산학협력을 위한 조인트펀드 개발, 전문 인력 교류 등의 한국 정부의 적극적인 정책 지원이 마련되어야 할 것이다.

<참고문헌>

NHA (2010), 「Hydrogen and Fuel Cells: The U.S. Market Report」, from
<http://www.hydrogenassociation.org/marketreport/pdf/fullReport.pdf>

US DOE (2002), 「National Hydrogen Energy Roadmap」, from
www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/national_h2_roadmap.pdf

US DOE (2005), 「Energy Policy Act of 2005」, from
http://www.epa.gov/oust/fedlaws/publ_109-058.pdf

US DOE (2006), 「Hydrogen Posture Plan」, from
http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/hydrogen_posture_plan_dec06.pdf

US DOE (2009), 「2009 Annual Progress Report: Hydrogen Program」, from
http://www.hydrogen.energy.gov/annual_progress09.html

교과부 (2009), 수소에너지 기술 평가 및 파급효과, 국회도서관

<웹사이트>

에너지부 재생가능에너지국 (EERE): www.eere.energy.gov/

에너지부 수소에너지프로그램: <http://www.hydrogen.energy.gov/>

EERE 연료전지기술프로그램: www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/about.html

미 수소에너지 협회(NHA): <http://www.hydrogenassociation.org/>