

## “친환경 수소경제” 구현을 위한 마스터플랜 - 연료전지산업 및 중장기 신·재생에너지 개발비전 -

부경진<sup>†</sup>

에너지경제연구원

### A National Vision of the Hydrogen Economy and Action Plan

Kyung-Jin Boo<sup>†</sup>

Korea Energy Economics Institute

#### 요 약

본 연구에서는 기준안으로 2040년까지 최종에너지의 15%를 수소로 대체한다는 목표를 세우고, 수소이용 효율이 가장 높은 수송부문을 주대상으로 2040년까지 자동차의 50% 이상을 연료전지 자동차로 대체하고, 기타, 가정·상업 및 산업부문에서도 각각 22%, 23%를 연료전지로 대체하는 계획을 수립하였다. 수소의 제조와 저장, 운반 등 공급인프라 부분에서는 2020년까지는 LNG와 석탄 등의 화석연료를 주원료로, 2040년까지는 신·재생에너지의 비중을 60%까지 늘리는 것으로 목표를 설정하였다. 기준안(수소비중 15%)으로 제시한 수소경제가 실현되는 경우 1차에너지가 9% 저감되고, 석유가 22.7%, 원자력이 17.8%, LNG가 8.9%, 석탄이 3.1% 줄어들고 대신 신·재생에너지는 47.3% 증가하여 지속가능한 에너지믹스가 실현되는 것으로 나타났다. 이에 따라 에너지자급도의 개선, 에너지수입대체효과, 환경편익, 신성장동력으로서 수소·연료전지 산업 정착에 따른 고용창출효과 등 경제적 파급효과도 막대한 것으로 나타났다. 또한 수소경제의 적정산업규모를 갖추기 위한 투자비를 산출한 결과 2040년까지 총 200조원 이상이 필요하다. 방대한 재원을 조달하기 위해 민간자본의 유치와 정부의 효과적 정책개발이 요청된다. 수소경제의 비용효과적인 조기실현을 위해서는 전담기구의 신설과 민간의 전문인력 양성, 그리고 수소·연료전지 산업육성을 위한 규격 및 표준화 마련도 시급한 것으로 판단된다.

**주제어** : 수소경제, 로드맵, 연료전지, 수소인프라, 에너지믹스, 법·제도 정비

**Abstract** — This study is to establish a national vision of the hydrogen economy and design a roadmap to materialize it. A goal is set to supply 15% of final energy consumption with hydrogen energy in Korea by 2040. Selecting the transportation sector as the main target, more than 50% of vehicles on the road will be replaced with fuel cell vehicles (FCVs) while 20~30% of electricity demand in the residential and commercial sectors might be replaced with power generation by fuel cells. If this goals were attained as planned, primary energy demand would be reduced by 9%, resulting in improved energy mix in which fossil fuel consumption is greatly reduced whereas renewable energy increases by 47%. Furthermore, GHG emissions will be reduced by 20% and self-sufficiency in energy is enhanced up to 23%. If the hydrogen economy is to materialize, the government needs to implement institutional arrangements such as new legislations, organizations, and fiscal measures to facilitate the process. In addition, the private sector's participation is highly recommended to mobilize fund needed for the huge investment to build an infrastructure in preparation for

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
Korea Energy Economics Institute  
Tel: 031-420-2223  
E-mail: smin0621@keei.re.kr

the hydrogen economy. Arrangements for codes and standards are also required to promote industrialization of fuel cells and hydrogen production and consumption.

**Key words :** Hydrogen economy, Roadmap, Fuel cells, Hydrogen infrastructure, Energy mix, Institutional arrangements

### 1. 들어가는 말

수소는 고갈되지 않으며 깨끗하다는(inexhaustible and clean) 장점 때문에 에너지정책입안자, 환경기구 및 산업 부문에서의 에너지전문가들은 이를 미래의 연료로 인식하고 개발 및 보급에 지대한 관심을 가지고 노력하고 있다. 수소는 우주에서 가장 흔한 원소이지만 지구에서 기체상태로 존재하는 양은 매우 적다. 수소는 현재 탄화수소를 열이나 화학분해를 하여 생산되고 있으며 대부분이 석유정제에 쓰이고 있다. 수소를 에너지로 이용하는 상용화 기술이 아직 진전되지 않았으며, 아직 걸음마 단계에 머물러 있고, 특히 수소 생산 및 저장 분야에서는 기술적 타당성 문제로부터 시작하여 경제성 문제에 이르기까지 실용화에 많은 애로점을 노정하고 있다.

이렇게 상용화를 위해서는 상당한 기술진보가 필요함에도 불구하고, 이미 대세는 수소경제가 도래하는 것으로 굳어지고 있다. 왜냐하면 수소에너지의 장점이 단점을 훨씬 능가하기 때문이다. 이러한 장점은 수송부문에서 수소를 사용할 때 확연하게 나타난다. 그림 1은 휘발유 자동차와 수소를 연료로 사용하는 연료전지 자동차, 그리고 전기자동차 하이브리드 자동차의 연비와 환경편익을 각각 보여주고 있다. 극단적인 비교로 기술된 차와 연료전지 자동차를 비교하여 보면 종합효율이 최대 3배의 차이를 보인다. 이러한 점은 연료전지 발전효율이 30~50%로서 내연기관의 20% 내외에 비해 훨씬 높다는 데 기인한다. 또한 환경오염의 면에서 볼 때도 연료전지 차량이 내연기관에 비해 50% 이상의 CO<sub>2</sub> 배출량 감축효과를 보인다.

다른 제품의 개발과 산업화에서 보듯이 기술적 및 경제적 문제점은 시간이 해결해 줄 것으로 전문가들은 믿고 있다. 이미 미국과 일본, 유럽 등의 선진국들은 수소를 통해 발전부문과 수송부문의 에너지수요의 상당부분을 충족시키는 장기로드맵을 개발하고 이의 실현을 위한 세부전략을 짜고 있다. 특히, 미국과 일본은 이미 1980년대부터 수소를 중심으로 한 지속가능한 에너지 시스템의 구축을 위해 국가차원에서 프로그램을 개발하고 기술개발과 상용화에 주력하여 왔다. 본 연구는 이러한 시대적 요청에 부응하여 수소경제에 대한 국가비전을 세우고 장기로드맵을 작성함으로써 미래 수소경제의 원활한 이행에 도움이 되도록 하였다. 수소경제의 실현에 따른 에너지와 환경 및 경제적 편익을 분석하고 연료전지의 보급량과 수소의 필요량, 그리고 연료전지산업과 수소인프라의 규모, 투자비, 소요재원과, 마지막으로 수소경제기반 조성을 위한 법제도 인프라 정비에 대해 논의하였다.

### 2. 수소경제의 부상배경 및 주요국의 동향

#### 2-1. 화석연료의 고갈과 수소경제의 부상

세계 유수 에너지전망 전문가들은 화석연료의 가체 매장량을 석유 41년, 천연가스 67년, 석탄 192년 등으로 추정하고 있으나 원유생산량이 조만간에 정점(Peak Oil)에 도달할 것이라는 우려에 따라 석유가격의 불안정이 심화되고 있다. 석유매장량을 비판적으로 평가하는 전문가나 기관의 경우 2010년 전후, 석유생산량이 정점을 이룬 후 급격히 줄어들 것이라는 극히 비관적인 전망을 내놓고 있다(Hubbert 2008년, Campbell 2010년, 독일연방은행 2014년경). 반면, 낙관적인 평가의 경우, 석유생산 정점이 2030년까지 유지되는 것으로 중립적인 전망을 내놓고 있음을 알 수 있다(IEA 2020년경, USDOE 2030년).

이에 따라 각국은 오일샌드와 가스 하이드레이트(Methane Hydrate) 등 다양한 대안을 모색하고 있으나 가장 현실적인 대안으로 자원량이 풍부하며, 변환이 용이하고 효율이 높은 수소에너지 기반의 경제로 전환이 예상된다. 특히, 수송부문의 경우 에너지 이용효율을 최대 3배까지 개선 가능하며 이에 따라 CO<sub>2</sub>가 최대 50%까지 저감된다. 그러나 수소는 석유(납사)가 담당하던 ①

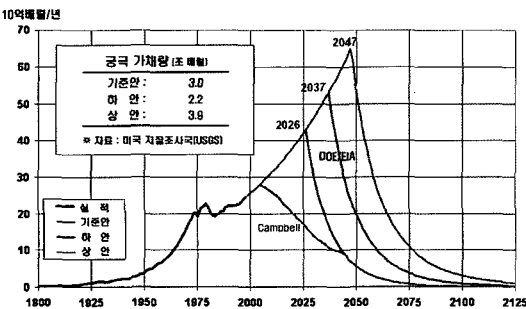


그림 1. 원유생산의 피크시기 전망.

- 연료전지 발전효율은 30~50%로 내연기관보다 우수하며, 온수로 열량 회수 시 효율은 80%.
- 연료전지 자동차는 가솔린차 보다 효율이 3배 높으며 환경 친화적이어서 공해와 소음이 없음

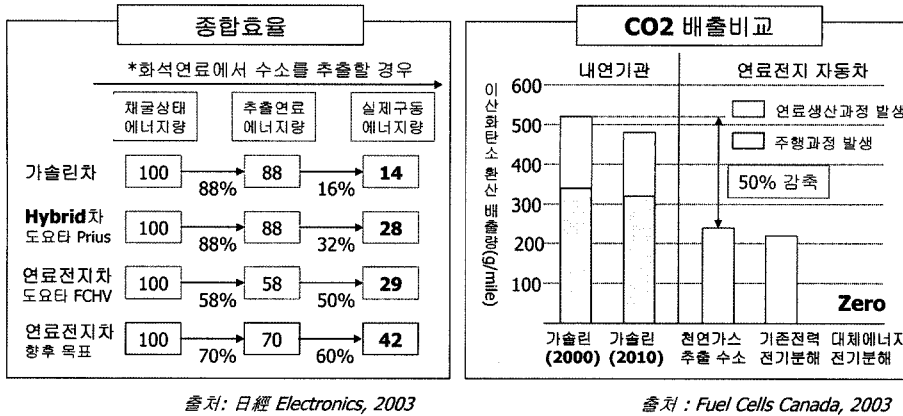


그림 2. 종합 에너지효율 비교.

표 1. 주요국의 개발동향.

미국	향후 5년간 Hydrogen Fuel Initiative와 FreedomCAR 프로젝트에 총 17억달러 투자
일본	2020년까지 연료전지자동차 500만대, 가정용 연료전지 570만대(1,000만kW) 등 보급 추진
E. U.	범유럽차원에서 2002~2006년간 연료전지와 수소에너지에 21억달러투자하고 있으며 프랑스, 독일 등 개별국가차원의 지원 병행
캐나다	연료전지산업화 로드맵(2003년)에 따른 정부차원의 육성 Ballard社 등 세계적 기업보유 및 연료전지 클러스터 육성

원료부문을 대체하는 데는 한계가 있고, ② 누출시 안전문제와 환경오염의 우려도 있기 때문에 수소경제를 실현하기 위해서는 넘어가야할 산도 많다.

앞서 언급한 바와 같이 수소는 자연상태에서 존재할 수 없기 때문에 수소를 얻기 위해서는 원료가 되는 에너지원이 필요하다. 수소를 어떤 에너지원으로부터 만드느냐에 따라 수소경제에 대한 여러 가지 개념과 정의가 가능하다. 사실 수소경제의 본질은 청정한 재생에너지로부터 수소를 생산하고 이용하는 것일 것이다. 그러나, 본 연구에서는 택한 정의는 상당히 광의적 개념으로 수소경제란 단기적으로는 화석에너지를 기반으로, 장기적으로는 신·재생에너지를 기반으로 수소를 생산하고, 燃料電池를 통해 활용하는 고효율 저탄소사회를 말한다.

### 2-2. 주요국의 동향

미국과 일본 및 EU 등은 수소경제 도래에 대비하여 수소연료전지 자동차 및 가정용 연료전지 개발, 수소에너지 인프라 구축 등 노력이 진행되고 있는 반면, 기술 수준이 미흡한 우리나라가 시급하게 대응하지 않을 경

우 막대한 세계시장을 상실할 우려도 없지 않다. 최근 전망에 따르면, 수소 및 연료전지 시장은 10년경에 메모리반도체시장(2004년 480억불)의 2배 규모(950억불)에 상된다(Goldman Sachs, 2005).

우리나라는 2003년말 수소이용 상용기술 개발을 위한 수소·연료 전지사업단(KIST, 산·학·연)을 발족하였고 “차세대 성장동력산업”으로 선정하였다. 이러한 국내 외적 환경변화를 깊이 인식하고, 정부는 수소경제 조기 구현을 통한 『에너지 저소비형 친환경 경제강국』 건설을 위해 종합마스터플랜(안)을 마련하였다. 종합마스터플랜의 작성을 위해 민관합동 T/F구성하였고(4월), 실무 작업반회의(10여차례)를 거쳐 완성된 마스터플랜을 가지고 공청회 개최하였고(9월 15일), 이를 기반으로 경제정책조정회의상정(8월 5일)을 거쳐 대통령국가에너지자문회의에 보고하였다(9월 28일).

### 3. 수소경제 조기 구현을 위한 국가비전

수소경제의 국가비전 수립을 위해서는 기준이 되는 에

표 2. 최종에너지 부문별 수요전망 결과.

(천TOE)

	2003년	2010년	2020년	2030년	2040년	연평균증가율				
						03~10	10~20	20~30	30~40	03~40
산업 (비중)	90,305 55.3%	104,844 54.3%	129,682 54.3%	156,882 54.7%	171,908 54.8%	2.2%	2.1%	1.9%	0.9%	1.8%
수송 (비중)	34,632 21.2%	41,477 21.5%	51,115 21.4%	60,231 21.0%	65,264 20.8%	2.6%	2.1%	1.7%	0.8%	1.7%
가정 (비중)	24,126 14.8%	27,014 14.0%	30,340 12.7%	32,346 11.3%	33,527 10.7%	1.6%	1.2%	0.6%	0.4%	0.9%
상업 (비중)	14,37 28.8%	19,663 10.2%	27,516 11.5%	37,303 13.0%	42,859 13.7%	4.6%	3.4%	3.1%	1.4%	3.0%
계 (비중)	163,436 100.0%	192,998 100.0%	238,653 100.0%	286,761 100.0%	313,557 100.0%	2.4%	2.1%	1.9%	0.9%	1.8%

자료: 에너지경제연구원(2005). “장기 온실가스 배출 전망 및 저감시나리오 분석”, “기후변화협약 대응을 위한 중·장기 정책 및 전략수립에 관한 연구(제 2차년도)”. 2005년 9월.

주: 2040년은 추세분석 결과임.

표 3. 1차에너지 원별 수요전망 결과.

(천TOE)

	2003년	2010년	2020년	2030년	2040년	연평균증가율				
						03~10	10~20	20~30	30~40	03~40
석탄 (비중)	51,116 23.8%	62,401 23.9%	70,502 21.4%	87,175 21.4%	93,529 20.9%	3.5%	1.2%	2.1%	0.7%	1.8%
석유 (비중)	102,379 47.6%	110,280 42.3%	125,675 38.1%	144,554 35.6%	155,161 34.6%	1.0%	1.3%	1.4%	0.7%	1.1%
LNG (비중)	24,194 11.2%	33,352 12.8%	49,960 15.1%	60,639 14.9%	66,006 14.7%	5.0%	4.1%	2.0%	0.9%	2.8%
수력 (비중)	1,722 0.8%	1,255 0.5%	1,407 0.4%	1,852 0.5%	2,056 0.5%	-4.2%	1.2%	2.8%	1.0%	0.5%
원자력 (비중)	32,415 15.1%	42,766 16.4%	64,510 19.6%	84,884 20.9%	94,221 21.0%	3.9%	4.2%	2.8%	1.0%	2.9%
신탄, 기타 (비중)	3,241 1.5%	10,625 4.1%	17,795 5.4%	27,457 6.8%	37,312 8.3%	17.8%	5.3%	4.4%	3.1%	6.7%
계 (비중 계)	215,067 100.0%	260,679 100.0%	329,849 100.0%	406,561 100.0%	448,285 100.0%	2.9%	2.4%	2.1%	1.0%	2.0%

주: 2040년은 추세분석 결과임.

너지수급전망이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 상향식(Bottom-Up) 모형인 KEI모형<sup>1)</sup>을 재구성하여 에너지수요의 부문별 특성에 입각해 경제활동 수준과 에너지이용기술, 에너지 이용기기의 보급률, 에너지원단위 등의 변수를 이용해 최종에너지를 전망하였다. 이렇게 전망된 최종에너지수요를 바탕으로 전환부문의 효율 등을

적용하여 1차에너지 수요를 전망하였다.

### 3-1. 수소경제 국가비전의 설정

본 연구에서 추구하는 수소경제의 비전이 그림 3에 실려 있다. 간단히 설명하자면, 우선, 4단계가 시작되는 2040년을 수소경제 실현의 목표 연도(target year)

1) 본 연구에서는 에너지경제연구원의 2030년까지의 시계를 가지고 작성된 장기수급 전망을 2040년까지 연장하여 수소저감안으로 제시함. KEI 모형은 에너지경제연구원에서 개발된 에너지수요전망 모형으로서 주로 20년 이상의 장기 에너지수요 및 온실가스 배출전망을 목적으로 개발·운영되고 있음.



그림 3. 수소경제 국가비전.

으로 삼고 그때까지 최종에너지 중 수소가 차지하는 비중을 15%로 설정하였다.<sup>2)</sup> 이러한 목표를 달성하기 위한 연료전지의 보급은 수송부문이 에너지소비의 54%, 발전과 가정부문에서의 전력수요 중 각각 22%와 23%를 차지하는 것으로 부문별 목표를 설정하였다. 이렇게 하였을 때 1차에너지소비의 저감은 물론 에너지믹스도 지속가능한 것으로 변화한다. 즉, 석유와 천연가스 소비가 상당부분 줄어들고 석탄도 약간 줄어드는 반면 신·재생에너지는 대폭적으로 늘어나는 것으로 나타났다.

수소경제의 실현으로 얻게 되는 기타 경제 및 환경 편익으로서는 에너지소비저감과 지속가능한 에너지믹스로의 변화로 기준전망(BaU)대비 CO<sub>2</sub> 저감도 20%에 이르며 원유수입 절감에 따른 무역수지 개선, 신성장동력산업 정착에 따른 정의 산업파급효과와 함께 에너지자립도도 23% 높아져 에너지안보 제고에도 크게 기여하는 것으로 나타났다. 수소경제의 조기실현을 효율적으로 추진하기 위해서는 세 가지 핵심전략이 필요하다. 즉, 연료전지 및 수소제조, 저장, 운반 관련 핵심기술 개발 및 산업화와 함께, 연료전지와 수소제조기술의 경제적 기술적 사회적 타당성을 고려한 차별화된 보급, 그리고 법령과 조직, 표준화, 안전 등의 법제도 및 인적 인프라 구축이 시급히 요청된다.

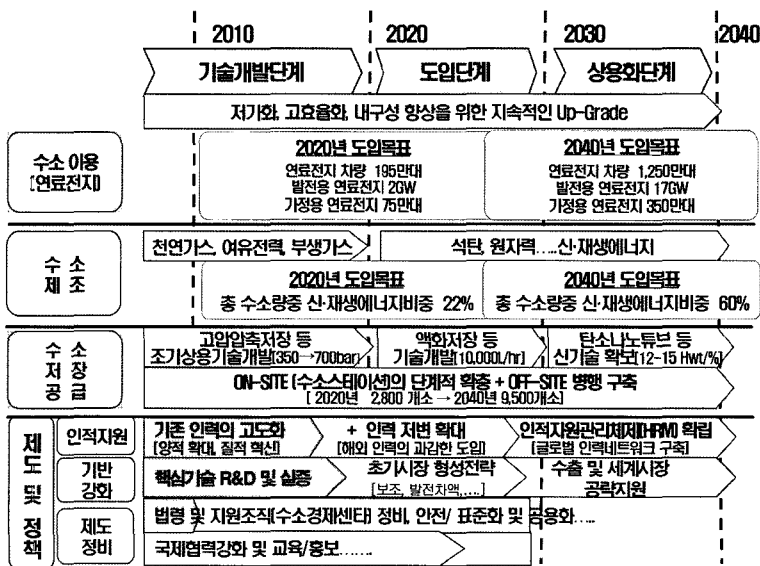


그림 4. 수소경제 실현을 위한 장기 로드맵.

2) 모든 선진국은 수소가 총 에너지소비에서 차지하는 비중을 설정하지 않고 있다. 수소경제를 제일 먼저 주창했고 가장 앞서가는 미국을 보더라도 2030년에 가서야 수소에너지 비중을 약 10%로 한다는 목표를 발표한 바 있다(DOE, 2002. *A National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy - to 2030 and Beyond*). 대부분의 경우 단계별로 부문별 연료전지의 보급목표를 설정하고 이에 필요한 수소수요량을 산정하는 수준에 그친다.

### 3-2. 로드맵

앞서 제시된 수소경제 국가비전의 실현을 위해서는 잘 디자인된 기술 및 정책 로드맵이 요구된다. 로드맵에서는 연료전지 및 수소의 제조저장운반 등 전반에 걸친 기술개발 및 인프라, 보급 및 산업화 전략 등이 반영된다.

## 4. 비전 구현을 위한 액션플랜

### 4-1. 연료전지 개발 및 산업화 전략

현재 전 세계적으로 볼 때, 대표적인 수소이용기술인 연료전지에 대한 개발경쟁이 본격화는 되고 있으나, 가정용 등 일부를 제외하고는 아직 상용화단계에는 접어들지 못한 채, 실증연구가 진행 중이다.<sup>3)</sup> 이러한 관점에서 볼 때, 상용화까지는 아직 6~7년의 시간적 여유가 있으므로 집중투자시 후발주자인 우리나라도 경쟁력 확보 가능성은 충분하다. 따라서 핵심분야에 대한 전략적 기술개발을 통해 저가 양산화의 기반을 마련하는 것이 무엇보다도 중요하다.

분야별 전략방향을 보면 수소용 연료전지 자동차 (Fuel Cell Vehicle : FCV)의 경우 전 세계적인 양산기점인 2013년까지 스택과 운전장치, 수소탱크 등 모든 기술의 국산화를 목표로 개발프로그램을 추진하고, 2040년까지 수소경제의 핵심분야인 연료전지자동차는 전체(2,340만 대 추정)의 약 54% 수준인 약 1,250만대를 보급한다. 가정·상업용 연료전지의 경우, 실증연구를 조기 마무리하고 시범보급사업을 착수함으로써 보급 확대에 의한 원가절감 유도한다(현재 개발 실증 중인 3 kW급을 수십 kW 급으로 확대함으로써 상업용 건물에 대한 수요창출 및 자동차용 스택요소기술로 이용). 또한 발전용 연료전지는 250 kW급 발전용 연료전지시스템 개발을 조속히 완료(2007)하고, MW급 규모로 대형화 추진과 병행하여 해외 우수기업과의 Joint-Venture를 구성하여 플랜트 수출 산업화의 기반 마련 및 아시아의 생산거점화 추진한다.

표 4. 연료전지 이용분야별 정책방향.

분야	핵심 전략
수송용	핵심기술인 스택기술의 조기 확보를 통한 완전 국산화 실현
가정용	실증연구를 통한 신뢰성 및 내구성 확보, 수명연장, 저가 고성능화
발전용	플랜트 수출을 겨냥한 대형화(Scale-Up) 기술 개발
휴대용	경박단소화 및 고성능화 기술개발

3) 마이크로 CHP로서 가정용 연료전지를 대대적으로 보급하고 하는 일본의 경우 1~3 kW급 가정용 연료전지의 경우 설비단가가 아직 수천만원에 이르러 일본정부는 금년(2005년)부터 가정용 연료전지 400대 시범보급사업 착수하였다.

4) 미국은 1990년에 Matsunaga Hydrogen R&D Act가 제정되었고, 1997년에 Hydrogen Future Act가 제정됨.

이러한 분야별 정책방향 및 산업화 전략이 그림 5에 서 제시된 연료전지 개발 및 산업화 로드맵에 잘 나타나 있다.

### 4-2. 연료전지 산업화 지원을 위한 수소제조전략

진정한 의미에서 수소경제를 실현하기 위해서는 지속 가능한 에너지원인 신·재생에너지를 사용한 수소제조가 주가 되어야 한다. 그러나 신·재생에너지원이 현재로서는 경제성이 미흡함으로 단기적으로는 경제성이 좋은 천연가스 등 화석연료를 이용하여 수소를 제조하도록 하고, 장기적으로는 자원량의 한계와 국제적인 환경규제의 강화로 인해 2020년을 전후하여 신·재생에너지가 화석연료대비 경쟁력을 확보할 것으로 전망됨에 따라 광촉매와 생물분해 등 신·재생에너지에 의한 수소 제조를 확대하도록 한다. 한편, 선진국에서는 풍부한 자원량을 가진 석탄을 이용한 수소제조와 원자력을 이용한 수소제조 방안도 고려하는 것이 바람직하다.

### 4-3. 수소저장·공급전략

수소저장은 수소경제 실현을 위한 아킬레스건으로 전문가들은 비용효과적인 신기술이 출현하지 않으면 수소경제도 없다는 견해를 표명하고 있다. 수소저장의 경우 현재 전체무게 대비 수소저장 능력이 2~3% 정도에 불과한데 경제성을 갖추기 위해서는 적어도 7% 수준에 이르러야 한다. 따라서 단기적으로는 상용단계에 진입하고 압압축기술을 최대한 활용하고, 중장기적으로는 신기술의 개발에 주력해야 할 것이다. 또한 수소 공급방식은 크게 제조저장일체형(on-site)과 제조저장분리형(off-site)으로 구분된다. 인프라는 이용패턴과 경제성 등을 감안하여 물류비용이 최소화될 수 있도록 공급인프라를 구축해야 할 것이다.

## 5. 수소경제에 대비한 법·제도 정비 방안

### 5-1. 안정적 추진체계의 정비

하드웨어 측면의 로드맵을 비용효과적으로 충실하게 실천에 옮기기 위해서는 법제도 면에서의 안정적 추진체계의 정비가 우선적으로 수립되어야 한다. 이를 위해서는 무엇보다도 관련법의 제정이 필요하다. 이미 미국과 일본에서는 수소경제 조기구현을 위한 특별법이 제정되어 있다.<sup>4)</sup> 우리나라도 수소경제에의 원활한 이행을 위해 ‘수소경제이행촉진법(가칭)’이 필요한 시점에 이르렀다. 동법에는 중앙 및 지방정부의 책무, 장단기기본계획, 개별

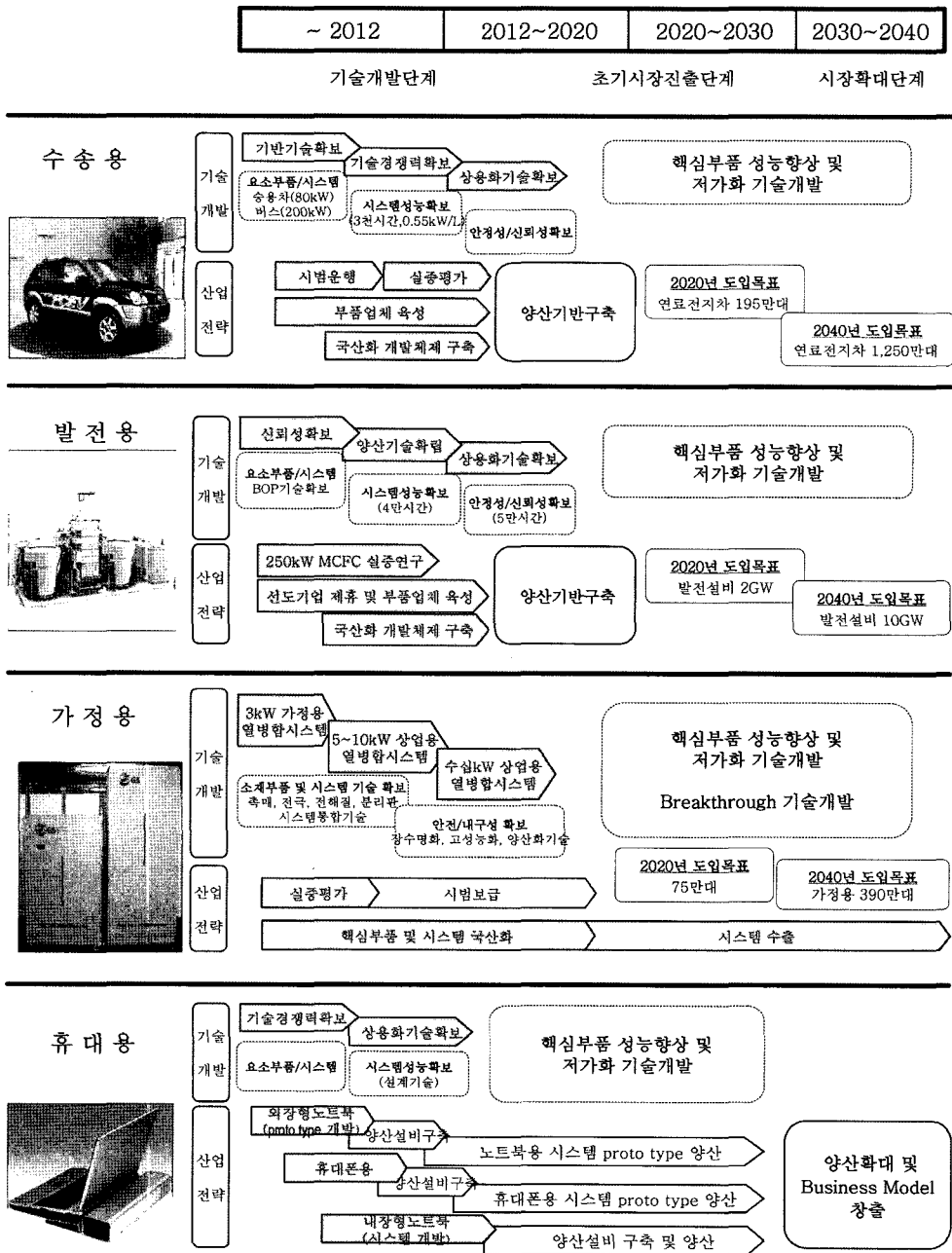


그림 5. 연료전지 개발 및 산업화 로드맵.

법령의 인허가 의제 등에 대한 규정이 포함된다. 이와 함께 동 법상의 계획을 실천에 옮기고 해당 책무를 충실히 이행하기 위한 전담조직의 신설 및 보강이 필요하다. 장기적으로 수소·연료전지만을 전담하는 별도의 행정조직의 신설을 검토하고, 사업 추진기구로서 “수소경제센터

(집행기구)”를 신설하고, 사업성과 재고를 위해 “경제성 평가위원회(심의·견제)”를 구성함이 바람직하다.

**5-2. 사업화 추진을 위한 정책의 체계적인 정비**  
수소경제의 순조로운 정착을 위해서는 연료전지 산





부 산하의 기술표준원이 관리기관의 역할을 하여 연료전지(IEC TC 105)와 수소(ISO TC 197) 관련 표준을 정비하여 법제화해야 한다. 이렇듯이 국제표준 제정과 연계하여 국내표준 및 규격이 제정되면 부품의 표준화와 공용화도 자연스럽게 이루어질 것이고, 이를 바탕으로 연료전지 및 수소제조, 저장, 운반 기술 및 제품의 수출산업화 기반이 조성될 것으로 기대된다.

**5-4. 안전대책 및 교육홍보**

수소는 폭발한계가 넓고, 연소속도가 빠르다는 특성을 지니고 있기 때문에 안전과 관련한 제반규정을 마련해야 한다. 이러한 사항은 수소가 하나의 상품으로서 시중에 유통이 되기 위해서는 지극히 당연하다 할 것이다. 이미 LNG와 도시가스에서 전례가 있었던 안전규정과 일본과 미국의 사례를 모델로 삼아, 관련규정의 개정과 신설을 추진하는 것이 필요하다. 이와 더불어 수소의 안전성에 대한 대국민 홍보 강화가 필요하다. 특히, 폭발위험이 크다는 수소의 부정적 인식을 해소하고, 수소연료전지에 대한 친밀도를 제고하기 위해 다양한 홍보사업을 추진하여 수소경제사회의 원활한 이행에 걸림돌이 될 수 있는 요소를 미연에 방지해야 할 것이다. 주요 홍보방법으로는 1) 정규교과과정에 수소에너지와 연료전지 자동차의 안전내용 반영, 2) 수소·연료전지의 교육 및 체험장 건설·운영, 3) 정기 시민교육세미나 개최, 4) TV, 신문, 잡지 등 언론매체를 활용한 교육 홍보, 5) 수소취급 안전지침 등 교육자료 배포 등이 거론된다.

**5-5. 인력양성 기반 강화**

수소경제로의 원활한 이행을 위해서는 법제도의 정비는 물론, 이와 병행하여 인적자원의 저변확대가 필요하다. 이러한 인력양성 기반 강화를 위한 한 가지 방안으로서 R&D 분야의 역량제고를 위해 산학연 공동연구 지원을 위한 “핵심기술개발센터”를 조성이 있을 수 있다. 동 센터를 통해 특성화대학 육성과 산업현장실습 확충제, Capstone-Design 사업<sup>5)</sup> 등을 통해 이공계 학생의 산업 전문인력을 효율적으로 확보할 수 있을 것이다. 민간부문의 기술역량 강화를 위해서는 애로기술의 돌파(break-through)를 위해 “개발보상금(cash-back)제도”도 도입 검토할 필요가 있다. 또한 수소연료전지산업의 기업과 학계, 연구기관이 참여하는 민간주도의 “인적자원개발협의체”를 구성하여 운영하는 방안도 있다. 동 협의체

의 주요기능에는 1) 수소연료전지 인력의 양적질적 수급현황 분석 및 전망, 2) 교육기관과 협력을 통한 업종특화 교육훈련 체제 효율화, 3) 직무표준의 개발 관리 및 각종 자격기준의 제정 및 개정이 포함된다.

**6. 수소경제 비전 구현시 우리나라의 모습**

수소경제 구현에는 최종에너지 중 수소대체율 15%를 목표로 하는 기준안을 제시하였다. 그리고 확산공식을 이용하여 분석한 신·재생수소안(수소대체율 15%), 원자력수소안(수소대체율 20%)과 석탄수소안(수소대체율 10%)의 세가지 안을 대체안(alternatives)으로 하여 총 네 가지 안을 제시하였다. 이러한 수소경제가 실현되면 에너지 및 경제산업구조의 재편과 함께 생활전반에 걸쳐 다양한 변화들이 예상된다.

**6-1. 경제: 미래 신성장동력에 의한 경제입국**

우선 기준안(15% 수소대체)을 놓고 볼 때, 연료전지산업이 크게 육성되고 활성화됨에 따라 2040년에 연료전지산업은 부문별로 보면 수송부문을 산업규모, 80조GDP의 약 4.5%(약 92조원)를 차지하고, 수소제조산업은 GDP의 약 0.7%(약 15조원)를 차지하게 되어, 총 산업규모는 107조원으로 GDP의 약 5.2%를 점유하게 된다.<sup>6)</sup> 또한, 수소경제의 투자·유발효과는 산업전후방효과를 포함한 산출효과와 소득효과, 고용효과로 나타난다. 기준안(15% 수소대체)을 기준으로 할 때, 산출효과는 누적기준으로 총 469조원, 소득효과는 총 84조원, 고용효과는 총 344만명에 이르는 것으로 나타났다.

**6-2. 에너지: 에너지저소비형 친환경 에너지 강국**

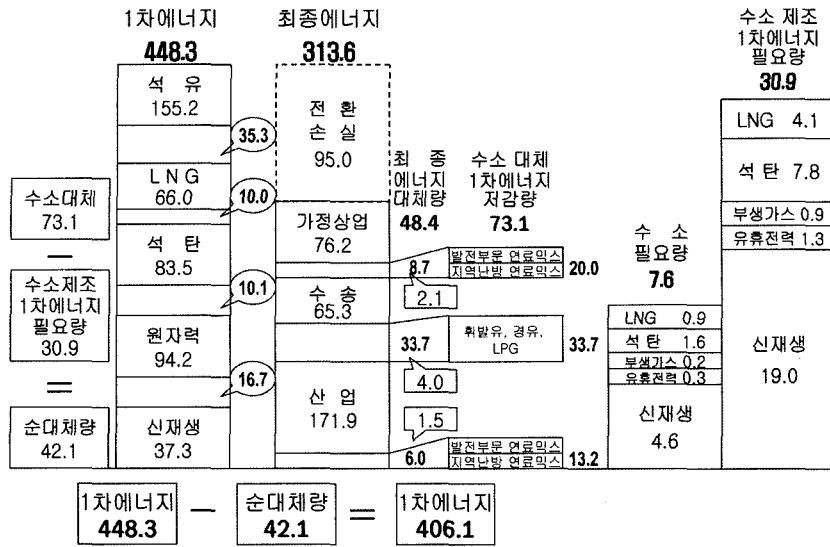
6-2-1. 에너지소비의 획기적 저감 및 지속가능한 에너지믹스의 실현

에너지밀도가 높은 수소의 사용 확대로 수소경제가 본격적으로 구현되는 2040년에는 탄소경제하의 기준안 전망치인 4억5천만TOE보다 약 9% 감소한 4억1천만TOE 예상된다. 이를 원별로 자세히 살펴보면 기준전망치에 비해 석유가 22.7% 줄고, 석탄이 3.1% 정도 줄어들며, 원자력이 17.8% 주는 반면, 신·재생에너지가 무려 47.3% 정도의 큰 증가율을 보인다.

6-2-2. 에너지自立度の 획기적 개선

국산에너지인 신·재생에너지의 확대에 따라 에너지

5) 교육부와 공동으로 수소·연료전지 특성화대학을 “산학협력중심대학”으로 지정하여 산업집적지의 혁신 클러스터화를 지원하는 방안 모색.  
6) GDP산출시 승용차가격은 대당 2,500만원, 버스가격은 1억원으로 가정하였으며 연료전지시스템 단가에서 BOP가 차지 비중은 가정·상업용의 경우 67%, 발전용의 경우 50%로 가정하였다(2005 Fuel Cell Seminar, Palm Springs, CA, Nov. 14-18, 2005 발표 자료 인용).



주) □ 내의 숫자는 수소전환량(백만H2톤)을 나타내고, ○는 수소대체로 인한 원별 1차에너지저감량(백만TOE)을 나타냄. 수소제조에 필요한 1차에너지량에서 부생가스와 유류전력은 이미 1차에너지로 사용된 것이므로 제외

그림 9. 수소경제 하의 에너지밸런스(2040년, 15% 수소점유를 기준).

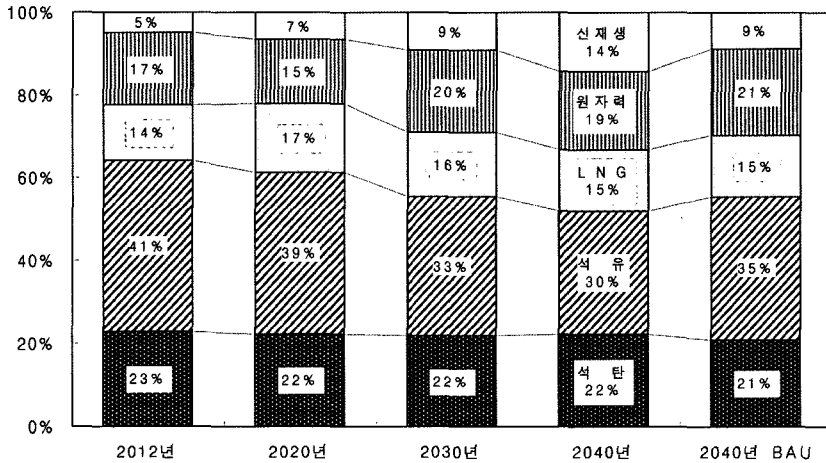


그림 10. 수소경제 도입으로 인해 변화된 에너지믹스.

자립도는 2005년 약 13.5%에서 2040년에는 약 23% 수준까지 제고. 이로 인한 에너지수입액의 감소분도 2005년 64억불에서 2040년에는 약 230억불로 확대되는 것으로 전망되었다.

6-2-3. 환경오염물질의 대폭적 저감

현재 세계 9위의 CO<sub>2</sub> 배출국인 우리나라의 2040년경 CO<sub>2</sub> 배출량은 6억 6천만톤(1억 8천만TC) 수준이 될 전망이다(에너지경제연구원, 2005). 이는 탄소경제하의 BAU 전망치인 8억 3천만톤(2억 3천만TC)보다 약 21% 가량

줄어든 것으로, 이로 인한 경제적 효과는 약 13억불로 예상된다.

7. 비전 구현을 위한 자금조달 및 추진체제

7-1. 재정소요

수소경제를 우리가 목표한 대로 달성하기 위해서는, 즉, 기준안의 경우 2040년까지 최종에너지 중 수소비중을 15%까지 제고하기 위해서는 국가 전체적으로 약 207

표 5. 수소경제의 편익 종합.

		2012년	2020년	2030년	2040년
1차에너지저감	저감량(천TOE)	175	6,860	17,364	42,144
	저감율(%)	0.1	2.1	4.3	9.4
에너지자급도		15.34%	16.16%	18.51%	23.33%
석유수입저감액		9,272,509	11,780,453	16,646,763	22,998,128
환경편익	저감량(천톤CO <sub>2</sub> )	539	26,307	70,297	171,464
	저감율(%)	0.1	4.1	9.1	20.7
	저감액(백만원)	4,044	197,303	527,229	1,285,979
산업규모(백만원)	연료전지	37,000	12,040,300	14,918,500	46,753,425
	수소제조	91,083	3,898,400	9,916,160	22,768,276
산출효과(백만원)		526,352	13,525,398	12,138,242	23,489,521
소득효과(백만원)		94,378	2,417,923	2,176,388	4,193,930
고용효과(명)		3,833	99,404	88,399	173,298

조원의 비용 필요한 것으로 산출되었다. 이렇게 방대한 자금을 민간과 정부가 조달해야 하는 바, 이는 국가의 경제기반을 좌우할 수 있는 막대한 액수이다. 이러한 자금의 대부분이 민간경제가 담당해야 하나, 수소경제 인프라에 해당하는 공급 및 수송, 저장 설비 구축에 들어가는 투자비용의 일부는 정부가 부담해야 할 몫이다.

수소·연료전지 산업이 아직 유치(幼稚)산업인 점을 감안 2단계(~2020)까지는 총 전환비용의 34% 수준인 17조원의 정부지원이 필요할 것으로 판단된다. 그리고 시장기능이 작동될 것으로 보이는 3단계부터는 정부지원을 중단하고, 제도개선 등 간접 지원방식으로 전환하여 시장기능이 원활히 작동하도록 하여, 자생력을 갖추도록 하는 것이 필요하다.

7-2. 조달 방안

안정적 예산조달을 위해 에너지·자원분야 일반재원인 에너지및자원사업특별회계 및 전력산업기반기금외 별도의 “특별기금”을 신설하는 것이 가장 바람직 하다. 즉, 에너지및자원사업특별회계(에특회계)와 전력산업기반

자금 등의 기존의 가용재원에서 최대한으로 확보하고, 부족한 재원은 연료전지의 특성상 발전용 연료에 부과금을 부과하거나, 연료전지 이용의 핵심분야인 수송부분의 연료에 부과하여 확보토록 한다. 여기에 부가하여 에특회계 및 전력산업기반기금에 별도의 항목을 신설하여 수소경제 관련 사업을 지원하는 방안도 강구한다. 우선적으로 가용재원 내에서 최대한 확보하되, 부족시 석유수입부담금 및 전력산업기반기금의 부담률 인상 등을 통해 확보한다.

한편, 수소경제가 경제사회 에너지전반에 걸친 지속가능한 사회건설을 지향하는 범국가 차원의 사업임을 감안 타 재원에 대해서도 활용가능성을 타진한다. 말하자면, 교통시설특별회계(교특)가 현재 10조 가까이 되는 규모의 방대한 자금원으로 있는데, 세입의 상당부분이 휘발유 및 경유의 특소세이므로 연료전지 자동차와 같은 친환경 자동차 개발과 보급에도 활용토록 하는 것도 고려한다. 또한, 환경개선특별회계(환특)가 있는데, 재원의 일부를 경유자동차 소유자에게 부과하고 사용처가 저공해 및 친환경 자동차 기술개발 및 보급이 포함되는 점

표 6. 수소경제 실현에 필요한 총 투자비.

(백만원)

시나리오	1단계(~2012)	2단계(~2020)	3단계(~2030)	4단계(~2040)	합 계
기준안(수소비중 15%)	1,861,451	47,741,103	53,657,827	103,556,563	206,816,945
석탄수소안 (10%)	1,813,510	18,481,715	38,489,074	86,439,560	145,223,858
대체안 (확산공식 이용)					
신·재생수소안 (15%)	1,813,510	22,839,912	53,249,264	129,289,954	207,192,640
원자력수소안 (20%)	1,813,510	27,782,892	70,924,993	184,853,416	285,374,810

을 감안 연료전지 자동차의 기술개발 및 보급에도 사용토록 하는 것도 전향적으로 생각할 수 있다.

7-3. 기관별 역할과 추진일정

수소경제로의 이행을 위한 전반적인 사업추진은 신설 예정인 “수소경제센터”를 전담기관으로 지정하여 책임과 권한을 가지고 추진토록 한다. 이와 병행하여 산업자원부는 기본계획을 수립하고 특별법(가칭, “수소경제 이행추진법”)을 제정한 다음, 단계별로 정부지원을 우히나 소요예산을 확보하고 실행계획을 총괄토록 하며, 수소경제센터는 R&D와 기획, 실증 사업 등을 추진하고 장기적으로 산업화 및 상용화를 지원할 수 있는 정책수단을 개발한다(보조, 발전차액, 세제 지원 등).

또한, 수소경제 이행의 실질적인 주체가 되고 수혜자가 될 이해당사자들의 역할도 기본계획과 특별법에 명시하여 명실상부한 실질적인 수소경제 이행체제의 구축을 지향한다. 즉, 지자체는 국가계획과 연계한 자체 로드맵을 수립하고 지역클러스터 및 수소파워파크 조성 등을 통해 친환경 수소경제 구현에 참여토록 하고, 산업체는 기업가 정신을 발휘하여 자체 기술개발은 물론 연구소와 대학의 두뇌와 협력하여 핵심기반 기술개발과 비용저감을 통한 조기 산업화를 실현하고, 관민이 협력하여 전문인력의 양성과 기술산업 DB 구축으로 수소·연

료전지산업을 국가기반산업으로 발달시키고 궁극적으로 수출산업으로 확대 발전시킨다.

8. 맺는 말

수소경제의 도래가 점차 현실적인 문제로 다가옴에 따라 우리나라도 수소경제의 국가비전을 수립하고 장기 기술 및 정책 로드맵의 작성을 통해 효율적인 대응책을 강구해야 할 시점에 이르렀다. 본 연구는 이러한 시대적 요청에 부응한 것으로서 수소경제의 이행을 위한 방향타 역할을 할 것으로 기대된다.

본 연구에서 설정한 최종에너지소비 대비 수소사용량 15%의 수소경제가 실현되면 일차에너지 소비구조가 지속가능한 믹스로 변화된다. 우선 석유의 소비가 BaU대비 23% 줄어들고, 기타 에너지도 많게는 14%, 적게는 8% 정도 줄어든다. 반면, 청정에너지원이면서 지역에너지인 신·재생에너지의 비중은 15%로 획기적으로 늘어난다. 이에 따라 에너지의 자급도의 획기적 개선과 에너지수입대체효과, 그리고 온실가스 저감에 따른 환경편익, 신성장동력으로서의 연료수소전지 산업의 정착에 따른 고용창출효과 등 경제적 파급효과도 상당하다. 이러한 점에서 볼 때 수소경제는 우리 경제와 사회, 문화 전반에 일대 폭풍과 같은 변혁을 몰고 올 것으로 전망된다.

이와 같은 수소경제의 조기실현을 위해서는 하드웨어 뿐만 아니라 소프트웨어, 즉, 정책개발과 법제도의 정비 측면에서 세부액션 플랜의 수립과 지속적인 추진이 필요하다. 이와 함께 연료전지보급 및 수소공급인프라 구축에 필요한 방대한 투자재원을 확보하기 위해서 민간 부문의 투자를 촉진시키고 전담기관의 신설과 민간의 전문기술인력 양성과 더불어 연료전지 및 수소인프라 산업육성을 위한 규격 및 표준의 마련도 시급하다. 본 연구는 미래에 불어 닥칠 수소경제의 도래에 대비한 사전 준비 작업으로서 밑그림을 그리는 것이고, 국내 에너지 정책 방향의 수정 및 개편과 함께, 더 나아가서 본 마스터플랜에 기초, 세부 액션플랜의 수립 및 법제도 정비에 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

과학기술정책연구원. “수소경제시대를 대비한 원자력수소 연구개발 타당성 분석 및 추진방안 연구”, (수행 중), 2005.  
 김봉진 외. “20 NM3/hr급 메탄수증기 개질기를 설치한 국내 분산형 수소스테이션의 수소가격”, 수소회화발표자료, 2005.  
 김재윤. 수소에너지 혁명을 주도하는 연료전지. 삼성경제연구소. CEO Information. 2003. 12. 31 (제432호).

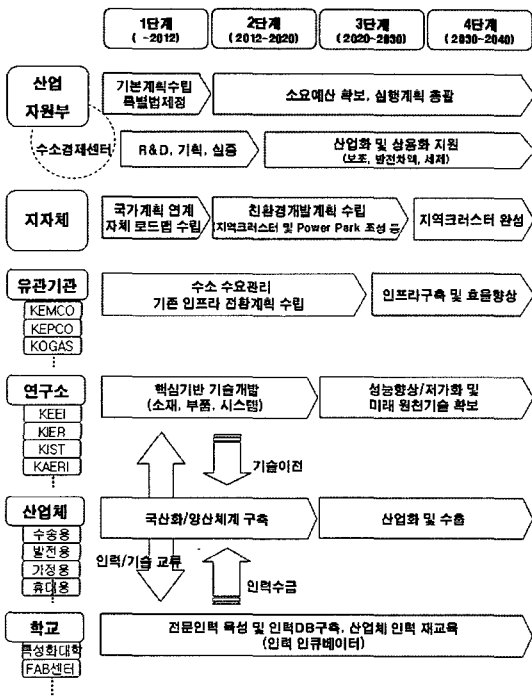


그림 11. 기관별 역할과 추진일정.

- 김재윤. 에너지혁명: 연료전지 사업의 현황과 발전전망. 삼성경제연구소. Issue Paper. 2004. 1. 12.
- 김정인. 수소에너지 선진국가의 정책비교와 한국의 향후 방향, 2004.
- 김정인. “원자력 수소 생산 시스템 도입의 기대효과 및 수소 생산의 경제성 분석”, (수행 중), 2005.
- 산업자원부/에너지경제연구원. 수소경제 국가비전 및 실행 계획 수립 연구(최종보고서), 2005.
- 수소연료전지사업단. “수소경제 지향 국가 Vision 및 보급목표 달성을 위한 실행방안”, 기획보고서, 2004.
- 양문희 외. “GHG를 고려한 수소연료전지 자동차의 경제성 분석”, 신·재생에너지학회, 2005.
- Lovins, Amory B. Twenty Hydrogen Myths. Rocky Mountain Institute, 2003.
- Bossel, Ulf and Eliasson, Baldur. Energy and the Hydrogen Economy, 2003.
- DOE, 2002. A National Vision of America’s Transition to Hydrogen Economy - 2030 and Beyond, National Hydrogen Meeting, 2001, 11, 15-16.
- DOE, 2002. National Hydrogen Roadmap, National Hydrogen Energy Roadmap Workshop, 2002. 11.
- DOE, 2003. Office of Fossil Energy - Hydrogen Program Plan. Hydrogen from Natural Gas and Coal: The Road to a Sustainable Energy Future, 2003.
- DOE, 2004. Hydrogen Posture Plan. An Integrated Research, Development, and Demonstration Plan, 2004.
- International Energy Agency. Hydrogen & Fuel Cells. Review of National R&D Programs, 2004.
- National Renewable Energy Laboratory. Life Cycle Assessment of Hydrogen Production via Natural Gas Steam Reforming, 2001.
- National Renewable Energy Laboratory. Life Cycle Assessment of Renewable Hydrogen Production via Wind/Electrolysis. Milestone Completion Report, 2004.
- National Research Council and National Academy of Science. The Hydrogen Economy. Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs, 2005.
- Rifkin, Jeremy. The Hydrogen Economy: The Creation of the Worldwide Energy Web and the Redistribution of Power on Earth, 2003.
- Rosenberg, S. US DOE Hydrogen Development Program : A perspective, 2002.