

## 연료 전지 자동차 기술 분석

이 원용<sup>o</sup>, 이 봉도, 김 창수, 신 동열  
한국에너지기술연구소

### Status of fuel cell vehicles

Won-Yong Lee, Bong-Do Lee, Chang-Soo Kim, Dong-Ryul Shin  
Korea Institute of Energy Research.

**Abstract** - A new hybrid vehicle powered by fuel cells is being developed in order to improve the fuel conversion rate and reduce air pollutions. Fuel cell electric vehicle(FCEV) is considered to be the next generation electric vehicle with on board generator. This paper is to determine the current technical status of FCEVs and assess and judge the prospect of the prospects of fuel cell electric engines.

#### 1. 서 론

에너지 절약과 환경 공해문제 그리고 최근에 부각되고 있는 지구 온난화 문제 등을 해결하기 위해 고효율, 저공해 발전시스템인 연료전지가 기존의 내연기관을 대체하기 위한 자동차 동력기관으로 주목을 받고 있다. 그동안 선진 각국의 자동차 회사들은 무공해 자동차를 개발하기 위하여 축전지를 이용한 전기자동차를 개발해 오고 있었으나, 최근에 주요 자동차 회사들로부터 경쟁적으로 연료전지 구동 승용차를 제작하겠다는 계획이 발표되고 있다. 이것은 연료전지의 장점을 이용하여 기존의 전기자동차의 단점을 극복할 수 있기 때문으로 연료전지는 연소과정없이 화학에너지를 전기화학적으로 직접 전기로 변환시키는 시스템으로 효율이 높고 공해 물질의 배출이 거의 없기 때문에 전기자동차에 탑재시킬 있는 전력 공급원으로서 매우 이상적인 발전장치이다.

현재 미국, 일본 등 선진국 자동차업체는 초고연비 자동차, 대체연료 자동차 등 차세대 자동차의 개발을 위해 정부의 지원 하에 업체들이 컨소시엄을 구성하는 등 범국가적인 차원에서 대응하고 있다.

연료전지 전기자동차에 대한 개발은 독일의 Daimler benz와 일본의 Toyota 등이 선두주자로 시제품을 발표하였으며 그 뒤를 미국의 주요 자동차 회사들이 따르고 있었으나 최근에는 각 자동차회사들이 합병과 기술 제휴등을 통해 2004년까지 동시에 연료전지 자동차를 양산한다는 계획을 발표하였다.

차세대 자동차 동력원으로 주요 역할을 담당하게 될 자동차용 연료전지 시스템을 개발하기 위해서는 연료전지 스택을 비롯하여 개질기, 동력변환기, 급기시스템, 냉각시스템 그리고 제어기 등의 요소 기술과 이들 요소들을 종합적으로 연계시키고 운영시킬 수 있는 기술의 개발이 필요하며, 최근에는 시스템 종합 기술에 중점을 두어 연구가 진행되는 추세이다. 연료전지 구동 자동차 개발을 위해서는 종합적인 시스템 입장에서 개발 계획과 전략이 필요하다. 이는 현재 국내의 기술 수준과 개발해야 할 필수 기술의 분석을 통해서만 가능하다. 본 연

구는 전반적인 연료전지 전기자동차의 기술 현황과 필요한 기술의 분석을 위한 것으로 앞으로 국내에서 본격적으로 연구 개발될 연료전지 자동차 개발에 필요한 도움을 주기 위한 것이다.

#### 1. 본 론

##### 2.1 연료전지 전기자동차 개발 현황 및 기술 분석

연료전지 전기자동차 기술은 자동차의 연비를 3배로 높이고 배출가스를 줄이기 위한 기술의 일환으로 연구되는 분야로 현재 핵심기술인 연료전지 스택기술 개발과, 시스템 종합기술이 핵심과제로 연구 개발되고 있으며, 부속기술로 연료 변환기술, 압축기 팽창기를 포함한 급기 시스템 그리고 제어 시스템에 대한 연구가 집중적으로 진행되고 있다. 표 1은 현재까지 제작된 대표적인 연료전지 자동차의 연료전지 자동차의 현황을 나타내고 있다. 연료전지를 비롯한 대체 자동차를 위한 평가는 단순히 가격에 의한 경쟁성만을 고려할 것이 아니라, 지역적 공해문제, 온실가스 배출 문제, 효율 향상과 대체 연료 사용으로 인한 원유 수입과 자원문제 해결 등을 종합적으로 고려하여 결정해야 한다. 가격에는 차량 자체의 가격은 물론, 연료비와 기반 시설 투자비를 포함한 연료전지 자동차는 전기자동차와 연료전지가 결합된 형태로 이해할 수 있다. 따라서 전체적인 시스템 구성은 전기 자동차 구성 부분과 연료전지 스택, 개질기, 엔진 제어시스템, 급기 및 급수 시스템 그리고 열교환기 등으로 구성된다.

연료전지 자동차 개발 현황을 종합화 기술 측면 분석하면 다음과 같다.

연료전지 엔진은 사용 연료에 따라 시스템의 구성에 차이가 있을 수 있는데 가장 간단한 형태의 수소 이용 연료전지 자동차의 경우 Daimler-Benz의 NECAR1 NECAR2와 연료전지 버스에 의해 기술을 확인할 수 있다. 그러나 급기 시스템에 사용되는 압축기와 팽창기의 기술부족, 낮은 온도에서의 신속한 시동 특성, 물공급 체계의 동결방지 문제 등에 의해 아직까지 완전한 시스템으로 보기 어렵다. 또한 전체적으로 부품이 최적으로 조합되지 않아 탈설계 영역과 부하 변화시에 연료전지 엔진의 장점인 높은 효율을 내지 못하고 있다. Georgetown/DOE/DOT 버스와 NECAR3 승용차는 메탄올을 사용하는 자동차로 메탄올을 수소로 변환시키기 위하여 개질기를 탑재한 자동차로 연료전지 자동차의 가능성을 보여주고 있다. 그러나 이들 자동차 역시 기술적으로 자동차로서의 요구조건과 성능을 만족할 수 있는 정도는 아니며 기술확보와 전시를 위한 실험장치이다. 현재까지의 기술로는 탄화수소 연료를 수소로 변환

시키는 연료 변환이 동력밀도와, 운전 성능면에서 자동차에 탑재시킬 정도로 개발되어 있지 않다. 표 2와 표 3은 연료전지 자동차의 핵심 부분인 연료전지와 개질기가 자동차용으로 사용되기 위한 기술적인 기준으로, 경쟁성에 입각하여 DOE에서 설정된 자동차용 연료전지를 위한 목표값이다.

Allied signal은 연료전지와 시스템 종합기술을 자동차와 우주선에 적용하기 위해 연구를 수행해오고 있다. 기술력으로 구동되는 60kW급 스택, 고효율 압축기, 팽창기 기술, 그리고 시스템 종합화 기술 위주로 연구를 수행 중이며, 연료변환부는 자체적으로 개발하고 있지 않다. Ballard(B)는 Diamler-Benz(DB)와 연료전지 자동차를 개발하기 위한 연구를 수행하고 있다. 자동차용으로 적합한 고분자 전해질 연료전지 기술로는 최고의 수준을 보유하고 있다. 현재 DB와 더불어 DBB라는 회사를 설립하여 시카고와 밴쿠버의 연료전지 버스제작과 Georgetown/DOT버스용 연료전지를 제작하고 있다. Chrysler는 Delphi사와 더불어 1999년 까지 연료전지 자동차 기술을 확립하기 위해 연료전지/축전지 복합구동 자동차를 개발하고 있다. Ballard가 연료전지를 Chrysler는 제이거, 전동기, 축전기를, 그리고 Delphi가 연료개질기를 포함한 시스템을 담당하고 있다. Ford는 IFC와 Diamler-Benz/ Ballard와 더불어 공동으로 연료전지 자동차의 개발을 진행중이다. Ford는 전시될 자동차를 30개월내에 개발하겠다는 계획을 제출하고 있다. G.M.은 기존의 전기자동차에 연료전지를 조합하기 위한 기술을 개발 중에 있다. G.M.은 50kw급 메탄을 구동 연료전지 엔진 조합에 주안점을 두고 있으며, 연료전지는 Ballard의 것을 사용하고 있다. IFC는 우주선과 자동차용 연료전지 스택과 시스템 개발을 수행하고 있다. Georgetown/DOE 프로 그램 연구를 통해 버스를 위한 연료전지를 시스템 조합 기술을 확보하고 있으며, Ford와 더불어 50kW급 수소-공기 이용 연료전지를 개발하고 있다. IFC는 또한 기술된 개질기와 스택개발에 노력을 기울이고 있는데, IFC가 상업에서 구동되는 스택을 요구되는 동력밀도로 개발할 경우 급기시스템과 전체 연료전지 시스템의 복잡성과 가격을 크게 절감시킬 수 있을 것이다. Plug Power 역시 시스템의 개발 능력을 보유하고 있다. Plug Power는 ADL(개질기), Texaco(환경 실험), 그리고 Marco Tech(자동차 부품회사)와 공동으로 2000년을 목표로 50kW급 복합 연료 이용 연료전지를 개발하고 있다. Diamler-Benz는 고분자 연료전지를 이용하여 버스, 밴, 그리고 승용차를 그성한 경험을 보유하고 있으며 이미 NECAR 1, 2, 3, 4로 실험용 연료전지 자동차의 주행실험을 수행하였다. 메탄을 개질기를 탑재한 NECAR3의 특성으로는 연료전지 종합 시스템의 동력밀도가 0.054kW/liter, 0.066kW/kg, 정격동력은 33kW 그리고 주행거리는 400 km이다. Diamler-Benz에서 제작한 승용차는 자동차로서의 모든 기능을 포함하고 있으나 아직은 대량 생산을 위한 형태가 아니며 저온 시동에 문제가 있으나, Ballard와 Ford등과의 2004년 까지 1.6억 달러를 투자하는 연구를 통해 기술적인 문제는 해결할 것으로 예측되고 있다. 현재로서는 불확실성은 부품과 부위를 대량 생산할 경우의 기존 엔진과의 가격 경쟁력 문제이다.

일본의 경우 주요 자동차 회사들이 자동차용 고분자 연료전지를 개발하고 있으며 도요타에서 제작된 연료전지 자동차는 자동차를 이용한 메탄을 구동 연료전지 자동차로 25kW의 연료전지를 사용하고 있다.

기술을 선도하는 자동차 제작사들은 시작품의 제작과 운행을 시험 운영을 통해 연료전지 자동차의 기술적인 가능성을 제시하였으며, 현재는 경쟁력 있는 대량 생산이 가능한 부품과 부위를 개발하여 단위 엔진으로 종합화 할 수 있는 기술 개발에 초점을 두고 있다. 이것은 지금까지의 기술적 가능성을 보여주기 위한 단계에서 경

제적 가능성을 보여주기 위한 단계로 접어들고 있음을 나타낸다.

## 2. 2 연료전지 엔진

연료전지 전기자동차는 그림 1과 구성된다. 이중 엔진 부문을 고려하면 그림2와 같다. 엔진은 연료변환부(개질기), 공기 공급부, 연료전지 스택, 그리고 전력변환계와 축전지로 구성될 수 있다. 연료로 수소를 사용할 경우 연료변환부가 필요없다. 자동차용으로는 80℃ 정도에서 작동되는 고분자 전해질 연료전지가 운전 온도와 동력밀도면에서 가장 유망하다. 연료전지스택을 위해 필요한 요소 기술 보유 현황을 분석한 것이 표 4로 주요 자동차 회사가 총망라 되어 있는 것을 알 수 있다. 이 이외에도 연료전지 연구는 전 세계적으로 약 300개 이상의 연구기관 및 회사에서 연구를 하고 있다. 이와 같은 연료전지 엔진에서 가장 중요한 부분은 스택과 개질기로 현재 이들 부품의 성능 개선과 더불어 자동차 엔진으로 이용하기 위해서는 저온 시동, 공기 가압시스템의 소형화, 수소 저장 문제, 냉각 시스템 소형화 등의 문제를 해결해야 한다. 표 4가 현재 개발된 자동차용 고분자 연료전지의 성능을 나타낸다. 표 1의 목표와 비교해 보면 알 수 있는 바와 같이 기술적으로는 이미 목표에 도달한 곳이 있으며 현재는 가격 경쟁력을 위한 연구가 진행되고 있다.

세계 각국의 주요 자동차 제작회사들이 시작품 제작을 완료하고 2,004년부터 연료전지 자동차 생산을 발표하고 있다. 국내의 경우 최근 연료 전지 전기자동차에 대한 연구가 시작되고 있다. 이 분야에 주요기술을 국내에서 신속히 확보하기 위해서는 핵심기술에 대한 집중 투자가 이루어야 할 것이다.

## 3. 결 론

연료전지 시스템은 에너지 변환 효율이 높고, 사용 연료의 다양성으로 인해 수소는 물론 메탄올과 같은 대체 연료를 사용할 수 있으며 공해 물질을 거의 배출하지 않는 장점이 있어 현재 세계 각국에서 자동차 엔진으로 적용하기 위한 연구가 경쟁적으로 진행되고 있다. 각국의 기술 목표와 분석을 통해 연료전지 상용차는 2004년쯤 등장할 것으로 보이며 2010년 무렵부터는 본격적인 도입에 들어갈 것으로 예상된다. 이렇게 되면 자동차는 기술된 엔진의 자동차와는 전혀 다른 양상을 가지게 되어 산업구조에도 큰 변화가 일어나게 될 것이다. 이런 추세가 맞추어 국내에서도 적극적인 연구 개발을 통한 기술 대처가 필요하며 여기서 분석된 연료전지 전기 자동차 기술이 국내에서의 종합 기술 및 주요 부품 연구 개발에 도움이 될 수 있을 것이다.

본연구는 산업자원에서 시행한 출연연구개발사업의 연구결과입니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Fritz R. Kahhammer, Pau r. Prokopius, vernon P. Roan, and G.E. Voecks, "Status and Prospects of Fuel cells as Automatic Engines", California Air respurce Board, July, 1999
- [2] C.E. Thomas, B.D. James, F.D. Lomax, " Fuel Options for the Fuel Cell Vehicles:- Hydrogen, Methanol or Gasoline?". Fuel Cell Reformer Conference, California, 1998. 11. Techniques for Fault detection and diagnosis of an Air Handling Unit." IEA ANNEX34 meeting, Boulder, USA, 1997.
- [3] 신동열, 이 원용., 이봉도 '연료전지 자동차 개념 설계 및 타당성 연구'. KIER-981328, 1998

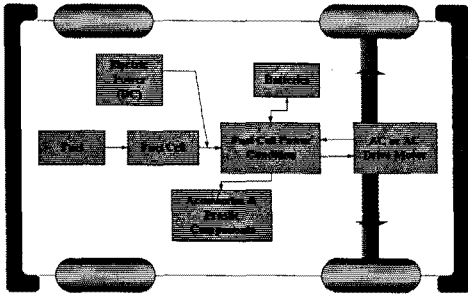


그림 1 연료자동차 구성도

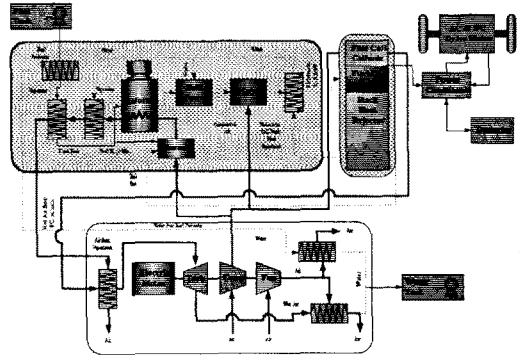


그림 2 연료전지 엔진 구성도

표 1 각국의 연료전지 자동차 개발 현황

제조 회사	차 종	개발 년도	연료전지 사양		주행거리	
			연료	출력(용량)		
일본 (4)	Mazda	Cart	1997	수소저장합금 (2X15m <sup>2</sup> )	20kW (5kWx4)	170km
	Toyota	RV	1997	메탄올	25kW	500km
유럽 (7)	Daimler Benz	승용차	1999	액화 수소	70kW	400km
	Renault	승용차	1996	액체수소	30kW	500km
북미 (9)	DBB	버스	1997	압축 수소	100kW	170km
	Georgetown U.	버스	1998	메탄올	100kW	560km
	GM	승용차 EV-1	1999	메탄올	50kW	500km
	Virginia Tech.	승용차	1999	압축수소	20kW	110km

표 2 승용차용 연료전지의 개발 목표 기준

특성	연료전지		개질기		엔진	
	동력 밀도 kW/l	비동력 kW/kg	동력 밀도	비동력	cold start min	가격 \$/kW
2000	0.35	0.35	0.6	0.6	1	150
2004	0.5	0.5	0.75	0.75	0.5	50

표 3 개질기 개발 목표

특성	2004 목표	1998 현황
효율	80%	68%
동력 밀도	750W/L	376W/L
가격	\$10/kW	\$25-45/kW
시동 시간	< 1 min	15min
반응 시간	10s	20s
CO 함유량	100ppm	5,000 ppm

표 4 자동차용 연료전지 핵심 기술 보유 현황

회사	스택 생산	스택 제작 기술	파일럿 전단계 생산	정격 용량 스택	스택 기반 기술	단위 전지 기술	MEA 개발/생산	막 개발/생산	촉매 개발	분리판 개발
Ballard	o	o	o	o	o	o	o			o
Benz	o	o	o	o						
G.M.				o	o	o	o			o
Toyota				o	o	o	o			o
Allied signal						o	o	o		o
Denora						o	o	o		o
Energy Partner						o	o			o
Honda						o	o	o		o
Hpower						o	o	o		o
IFC						o	o	o		o
Mitsubishi						o	o			o
Nissan						o?	o		o?	o
Plug Power						o	o	o		o
Simens						o	o	o		o

표 5 자동차용 연료전지 성능 현황

제작회사	출력 kW	동력밀도 (kW/liter)	성능
Ballard	25	0.9	
Denora	10	0.5	
Energy partner	20	0.3	
Honda	6.0	0.2	0.55V@100mA
IFC	50	0.55	
Simens	6	0.4	0.7V@700mA
Toyota	15	0.15	0.6V@900mA