시급한 연료전지자동차의 개발

한양대 공과대학장 강성군
sgkang@hanyang.ac.kr

자동차 배기가스에 의한 대기오염이 날로 심각하여 국내의 경우 총 대기오염 배출량의 약 40%가 자동차로부터 배출된다. 수입차의 20%가 판매되는 캘리포니아주는 2003년부터 전체 판매대수의 10%를 무공해 자동차로 대체할 예정이며, 이러한 무공해자동차의 의무 판매는 뉴욕주, 메사츄세츠주, 버몬트주, 메인주 등에서도 추진할 것으로 예상된다. 국내에서도 환경부를 중심으로 현재의 휘발유 승용차보다 질소산화물과 탄화수소 등 대기오염물질 배출량이 70% 정도 줄어든 차세대 저공해 승용차를 일정 비율 이상 자동차 생산업체들이 의무적으로 생산하도록 하는 방안을 추진 중에 있다.

이와 같이 무공해자동차 의무판매를 통한 자동차 배기가스의 규제, 기후변화협약에 의한 온실가스 배출규제에 대응하기 위해서 전 세계의 자동차회사들은 무공해자동차의 개발을 적극적으로 추진하고 있다. 이러한 자동차로는 전기자동차, 태양광자동차, 그리고 압축천연가스 (CNG), 액화천연가스 (LNG), 에탄올, 메탄올, 수소 등을 연료로 사용하는 대체연료자동차 등이 있으나 연료전지자동차 (fuel cell vehicle; FCV)가 환경친화성과 연료공급 용이성 면에서 가장 실용화 가능성이 높은 차세대 자동차로 평가되고 있다. 따라서 연료전지자동차에 대해서 전 세계적으로 연구개발이 활발하게 진행되고 있으며 이미 2002년 12월에 Toyota와 Honda가 처음으로 상업화를 이룩한 후 가격저감화를 통하여 조만간 연료전지자동차의 대중화를 이룰 전망이다.

1. 연료전지자동차

연료전지자동차는 연료전지를 동력원으로 하는 일종의 전기자동차로서 연료전지 단독 혹은 연료전지/이차전지 하이브리드 형태로 개발되고 있으며 충전시간, 일충전 주행거리 등의 문제점을 해결할 수 있어 실용화가 가능한 차세대 무공해자동차로 평가받고 있다. 전기자동차 동력원으로서의 연료전지 장점은 단위 무게당 에너지밀도가 이차전지에 비하여 월등히 우수하며 연료의 이용효율이 36~50%로 내연기관의 20%에 비하여 매우 높고 석유계열 이외의 연료 (천연가스, 알코올, 수소)를 사용할 수 있다는 점이다. 연료전지자동차는 연료전지 종류, 사용하는 연료, 연료개질방법, 연료 저장방법, 보조 동력원의 종류 등에 따라 여러 가지 형태로 개발되고 있다. 연료전지로는

고분자전해질 연료전지 (PEMFC), 인산 연료전지 (PAFC), 알칼리 연료전지 (AFC), 직접메탄올 연료전지 (DMFC) 등이 있지만 고분자전해질 연료전지가 출력밀도, 상온작동성, 내충격성, 수명 등이 다른 연료전지에 비해 우수하기 때문에 현재 가장 많은 주목을 받고 있다. 즉, 고분자전해질 연료전지는 효율이 높고 전류밀도 및 출력밀도가 크며 시동시간이 짧은 동시에 부하변화에 대한 응답특성이 빠른 특성이 있다.

특히 전해질로 고분자막을 사용하므로 부식 및 전해질 조절이 필요 없고, 기존의 확립된 기술인 메탄올 개질기의 적용이 가능하며, 반응기체 압력변화에도 덜 민감하다. 또한 디자인이 간단하고 제작이 쉬우며 연료전지 본체재료로 여러 가지를 사용할 수 있는 동시에, 부피와 무게도 작동원리가 같은 인산 연료전지에 비해 작다. 이러한 특성이외에도 다양한 범위의 출력을 낼 수 있는 장점이 있기 때문에 고분자전해질 연료전지는 무공해자동차의 동력원 이외에도 현지설치형 발전, 우주선용 전원, 이동용 전원, 군사용 전원 등 매우 다양한 분야에 응용될 수 있다.

2. 외국의 개발현황

(가) 미국

1993년 DOE는 General Motors (GM), Ford, Chrysler 등의 자동차회사, Los Alamos National Laboratory (LANL), Argonne National Laboratory (ANL) 등의 연구기관, 기업연구소, 대학 등과 함께 차세대자동차 개발을 위하여 총 연구비 3억$, 총연구기간 10년 (1993~2002년)의 PNGV (The Partnership for a New Generation of Vehicles) 프로그램을 시작하였다. 따라서 GM, Ford 및 Chrysler가 주축이 된 산업계에서는 DOE의 협조하에 공동으로 비용을 부담하여 현재 50kW급 연료전지 시스템을 개발하고 있으며 특히 GM은 메탄올 연료전지 시스템, Ford는 가솔린 연료전지 시스템, 그리고 Chrysler는 수소 연료전지 시스템을 주로 개발 중에 있다. 이러한 계획에 따라 GM은 1998년 Ford는 1997년, Chrysler (1998년 Daimler와 합병)는 1999년에 각각 연료전지자동차 시작차를 개발하여 발표하였으며 GM은 2004년에, Ford는 2003년에, Daimler-Chrysler는 2004년에 연료전지자동차를 상용화하는 것을 목표로 하고 있다. 올해부터는 PNGV 프로그램 후속으로 연료전지자동차 개발 및 수소공급 인프라 기술개발을 중심으로 하는 Freedom CAR 프로그램을 새로 시작하였다.

(나) 캐나다

1984년부터 고분자전해질 연료전지 스택 개발을 시작한 캐나다의 Ballard Power Systems는 1987년 2kW 스택 개발에 성공한 후 1993년에 120kW 급 (5kW x 24, 실제 작동출력 90kW) 연료전지 버스를 개발하였으며 1995년에는 같은 부피에서 성능이 2배인 260 kW 급 (13kW x 20, 실제 작동출력 205kW) 연료전지 버스를 개발하였다. 1997년부터 Ballard Power Systems, Daimler-Chrysler, Ford가 함께 공동출자회사를 설립하여 자동차용 고분자전해질 연료전지 스택의 개발과 엔지니어링에 대한 연구를 진행 중에 있다. 현재 Ballard Power Systems는 연료전지 버스를 자체 제작하고 있을 뿐 아니라 Daimler-Chrysler, GM, Ford, Honda, Nissan, Volkswagon, Volvo, Hitachi, Matsushita Electric Works, GPU

International, GEC Alsthom 등과 같은 회사에 자동차용 혹은 발전용으로 스택을 공급해 주고 있다.

(다) 유럽

독일의 Daimler-Chrysler는 1993년부터 Ballard Power Systems 스택을 자동차에 적용하는 연구를 시작한 이래 1994년에 50kW 스택 (12개의 스택모듈, 167W/L)과 압축수소를 이용한 NECAR-1 미니밴을 개발하였고 1997년에는 압축수소 대신 메탄올을 이용한 NECAR-3 승용차를 개발한 동시에 190kW 스택과 수소를 사용하는 NEBUS 버스를 개발하였다. 1999년에는 액체수소를 사용하는 NECAR-4 승용차를 개발하였으며 2000년에는 NECAR-3를 더욱 향상시킨 NECAR-5를 발표하였다. 특히 2004년부터 연간 40,000대 규모로 연료전지자동차를 양산할 계획이라고 한다. 독일의 Volkswagen도 Ballard Power Systems의 스택을 이용한 연료전지자동차 개발을 진행 중에 있으며, 이태리의 Ansaldo는 De Nora의 30~120kW급 스택을 이용한 승용차, 버스, 보트를 개발하기 위하여 여러 가지 프로그램을 운영하고 있다. 또한 프랑스의 Renault도 FEVER (Fuel Cell Powered Vehicle for Efficiency and Range)라는 프로그램의 일환으로 1998년 De Nora 스택과 액체수소를 이용한 연료전지자동차를 개발하였다.

(라) 일본

Toyota는 1960년부터 고분자전해질 연료전지 개발 프로그램을 시작하여 1997년 25kW급 연료전지와 메탄올 개질기를 이용한 연료전지 자동차를 개발하였고 2001년에는 90kW급 연료전지와 압축수소를 사용하여 최고속도 시속 150km, 주행거리 300km의 연료전지 자동차를 선보였으며 2003년 세계 최초의 양산을 목표로 하고 있다. Honda의 경우 1989년부터 개발 프로그램을 시작하여 1999년 수소저장합금과 메탄올 개질기를 각각 탑재한 60kW급 연료전지자동차를 개발하였으며 2005-2006년 양산을 목표로 개발을 추진 중에 있다. Nissan은 1996년부터 개발을 시작하여 1998년 Ballard Power Systems의 연료전지 스택을 이용한 연료전지자동차를 개발하였고 자동차용 직접 메탄올 연료전지 개발에도 역점을 두고 있다. Mazda는 1992년 Ballard Power Systems의 7.8 kW 스택을 이용하여 2인승 골프카트를 제작한 후 1997년 20kW급 연료전지와 수소저장합금을 이용한 연료전지자동차를 개발하였으며 2005년 양산을 목표로 하고 있다.

(마) 중국

1967년부터 알칼리 연료전지를 연구해 온 중국은 1992년부터 고분자전해질 연료전지 연구개발을 새로이 시작하여 현재 75kW급 스택을 개발하고 이를 연료전지자동차에 적용하는 단계에 와 있다. 향후 5년 동안 년 1400억원을 투입하여 2008년 북경 올림픽 때 연료전지자동차를 본격 출시하는 것을 목표로 하는 '863' 프로그램을 운영 중이며 여기에는 청화대학교, 대련화학물리연구소, 그리고 북경, 상해, 대련에 있는 민간기업 등이 참여하고 있다.

표 1. 연도별 주요 연료전지자동차 개발현황

연 도	기 관	개 발 현 황
1993	DOE	PNGV 체결
1993	Ballard	수소 연료전지 버스 개발
1993	Mazda	수소 연료전지 골프카트 개발
1994	Daimler-Benz	수소 연료전지 밴 (NECAR-1) 개발
1995	Ballard	상업용 수소 연료전지 버스 개발
1996	Daimler-Benz	수소 연료전지 승용차 (NECAR-2) 개발
1996	Toyota	수소저장합금 연료전지 승용차 개발
1996-97	Ballard	시범용 연료전지 버스 Chicago와 Vancouver에 판매
1997	Daimler-Benz	2005년 상업화를 목표로 Ballard에 $320 million 투자
1997	Daimler-Benz	메탄올 연료전지 승용차 (NECAR-3) 개발
1997	Toyoda	메탄올 연료전지 승용차 개발
1997	Mazda	수소저장합금 연료전지 승용차 개발
1997	Ford	Ballard와 Daimler-Benz에 합류 ($100 million 투자)
		수소 연료전지 승용차 개발
1998	Toyota	2003년까지 연료전지 승용차 상업화계획 발표
1998	GM	2004년까지 연료전지 승용차 상업화계획 발표
		메탄올 연료전지 승용차 개발
1998	Daimler-Chrysler	Daimler-Benz와 Chrysler 합병
		2004년까지 가솔린 연료전지 자동차 상업화계획 발표
1998	Mobil	Ford와 연료전지용 연료개질기 공동개발 합의
1998	Mazda	Ballard, Daimler-Benz, Ford에 합류
1998	Nissan	메탄올 연료전지 승용차 개발
1988	Renault	액체수소 연료전지 승용차 개발
1999	Daimler-Chrysler	액체수소 연료전지 승용차 (NECAR-4) 개발
1999	GM, OPEL	메탄올 연료전지 승용차 개발
1999	Honda	수소저장합금, 메탄올 연료전지 승용차 개발
2000	Daimler-Chrysler	메탄올 연료전지 승용차 개발 (NECAR-5)
2002	Toyota, Honda	연료전지자동차 첫 상업화

3. 국내의 개발현황

국내의 연료전지자동차 개발은 선도기술개발사업의 차세대자동차개발사업에서 1998년 11월부터 진행되어 왔다. 1단계인 2000년 9월 현대자동차/한국과학기술연구원이 10kW급 스택과 메탄올 개질기를 이용한 연료전지/배터리 하이브리드 자동차 (스포티지)를 개발하였고, 동시에 대우자동차/한국에너지기술연구원이 5kW 스택 2기를 연결한 10kW급 스택과 수소탱크를 이용한 연료전지/배터리 하이브리드 자동차(레조)를 개발하였다. 그러나 2단계부터 대우자동차가 회사내의 사정으로 참여를 중단하고 현대자동차만이 한국과학기술연구원, SK와 같이 참여하여 2002년 10월 25kW급 연료전지자동차를 개발하였다. 그러나 이러한 연료전지자동차 개발사업은 선도기술개발사업 후속사업인 미래형자동차개발사업에서 예산상의 이유로 인하여 안타깝게도 연간 5억여원을 지원하는 기초연구 외에는 연구개발이 중단되어 있는 상태이다.

한편 현대자동차는 이러한 연료전지의 국내개발과는 별도로 외국의 연료전지를 수입하여 연료전지자동차를 실용화하는 사업을 추진하고 있다. 즉, 미국 UTC의 75kW급 스택을 이용하여 2001년 3월 연료전지자동차(산타페) 시작품을 제작하고 시운전에 성공한 바 있다. 고분자전해질 연료전지 연구개발에 있어 단기간에 25kW급 스택을 개발하는 등 괄목할 만한 성장이 있었음에도 불구하고 국내의 기술수준은 연구기간, 연구인력, 연구비의 열세로 인해 선진국에 비해 크게 뒤떨어져 있는 상태이다. 실제로 미국의 경우 Energy Partner가 1993년에, 일본의 경우 Mazda가 1992년에 처음으로 시험용 연료전지 전동차를 개발한 것과 비교하면 우리나라의 연료전지자동차의 개발은 선진국에 비해 7~8년 이상 뒤져 있는 것으로 볼 수 있다.

따라서 구성요소 제조에 대해서는 어느 정도 기본적인 기술확립이 이루어진 상태라고 볼 수 있으나 성능향상, 대면적화, 신뢰성 및 장기성능 제고 등에 대해서 보다 집중적인 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다. 스택에 있어서도 분리판 유로, 가습방법, 가스밀봉 등에 대한 독창적인 기술확보가 필요하며 실용화를 위해서는 스택 경량화, 가격 저감화, 소재 국산화, 시스템 신뢰도 향상 등이 필수적이다. 한편 스택뿐만 아니라 휘발유 개질기의 개발이 매우 시급하며 공기압축기 개발, 제어시스템 개발, 시스템 종합기술개발 등 차량관련 기술개발도 매우 중요한 과제가 아닐 수 없다.

4. 향후 전망 및 개발의 시급성

국내외 기술현황을 종합해 볼 때 연료전지자동차가 궁극적으로는 내연기관 자동차를 대체할 것으로 예상된다. DOE는 미국 여러 주에서 시행될 무공해자동차 의무판매 규정에 의해 2010년에 판매되는 연료전지자동차가 전체 판매차량의 50% 이상을 차지할 것으로 예측하고 있다. 고분자전해질 연료전지 스택기술 자체는 자동차 추진에 필요한 성능 및 운전특성을 만족시키는 수준까지 발전하였으며 일부 선진국에서는 이미 원가절감 및 대량생산 기술을 개발하기 시작하였다. 자동차 동력원의 경우에는 부피, 무게 및 가격이

더 중요한 요소이므로 장치의 단순화를 위하여 상압 운전을 목표로 하고 있으며 수명은 4,000시간, 발전단가는 $60/kW를 목표로 하고 있다. 현재까지 근본적인 해결책은 알려지지 않았으나 향후 2~3년 동안 기술적 및 원가적 문제가 해결되고 대량생산이 이루어지면 상기의 목표치가 가능할 것으로 전망하고 있다.

이러한 모든 문제들이 해결되면 따르면 2003-2004년에 일부 자동차회사로부터 연료전지자동차가 판매될 것이며 2010년도에는 양산에 의해 연료전지자동차가 보편화될 것으로 예상된다. 그러나 국내의 경우 연료전지자동차와 관련된 기술수준은 선진국에 비해 매우 낙후되어 있는 실정이므로 자동차 수출 및 대기오염 방지를 위하여 이에 대한 대책마련이 매우 시급하게 되었다. 연료전지자동차 기술은 선진국으로부터

이전 받기에는 어려운 상태이므로 장단기적 계획에 의해 선진기술의 확보 및 독자적인 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

수출 148억불, 세계 5위로 지금까지 쌓아 올린 자동차 분야에서의 국제경쟁력을 상실하지 않으려면 정부 주도 하에 연료전지자동차 개발을 적극 지원하여야 할 것이다. 미래형 자동차기술 개발사업에서 기초연구 성격으로 현재 연간 5억원을 지원하는 수준으로는 선진 외국이 연료전지자동차를 생산하고 수출할 때 우리는 아직도 기초 연구단계에 머무르게 될 것이다. 파급효과가 매우 크나 위험 부담이 많은 연료전지자동차 개발은 정부가 주도하여 적극 지원하여야할 대표적인 R&D 과제인 것이다.