

연료전지 자동차 개발 현황 및 전망

조은애 (KIST 연료전지연구센터)

1 연료전지의 중요성

현대 사회에 있어 에너지원의 확보는 경제 및 산업 발달에 필수적인 핵심 요소이며 에너지원의 중요성은 에너지의 소비량의 급속한 증가와 화석 연료의 가채량 한계의 가시화에 의해 더욱 증대되고 있는 실정이다. 세계 에너지 소비량은 가채량의 한계가 가장 심한 석유의존도가 높은 수송 분야에서 두드러지게 증가하고 있으며, 이에 따라 세계 각국들은 에너지원 확보에 총력을 기울이고 있다.

우리나라는 현재 에너지 소비량 세계 10위, 석유 소비량 6위권의 에너지 다소비 국가이며 에너지 소비의 약 97(%), GDP의 8.2(%)를 수입에 의존하고 있어 에너지원의 확보가 시급하다. 우리나라의 에너지 소비량은 연간 약 4.0(%)정도로 증가할 것으로 예측되며 특히 석유 의존도가 높은 수송용 에너지 소비량은 가장 높은 증가율을 보일 것으로 예상됨에 따라 에너지원의 안정적 확보는 향후 우리나라 경제 및 산업 발전을 결정하는 핵심 요소라 할 것이다.

최근 화석 에너지의 소비가 급증하면서 대기 오염이 심각해지고 있다는 것은 주지의 사실이다. 특히 급증하는 온실가스 배출은 심각한 기후변화를 야기한다고 알려져 있으며 이에 따라 1997년 12월 주요 선진국들은 Kyoto에서 2008~2012년까지 CO2를 1990년 대비 EU 회원국은 8(%), 미국은 7(%), 일

본은 6(%)를 삭감할 것을 골자로 하는 의정서를 채택하였고 이산화탄소 발생량 세계 10위인 우리나라도 이에 대한 대비가 시급하다.

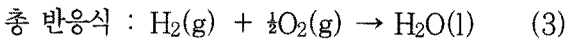
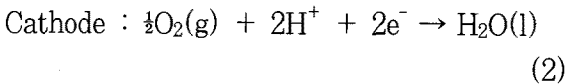
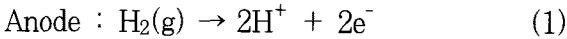
수소에너지는 가채량 및 지역 편재성이 없을 뿐만 아니라 환경친화적이기 때문에 에너지 안보와 환경 보호를 위해 그리고 21세기 막대한 에너지 기술 시장 확보를 위해 세계 각국에서는 막대한 자원을 투입하여 연료전지와 수소에너지에 관한 연구 개발을 진행하고 있다.

에너지 자원 빈국에서 21세기 에너지 기술 강국으로 도약하여 안정된 에너지원을 확보하고 차세대 경제성장을 견인하기 위해 연료전지를 신성장 동력, 그린에너지 중점기술로 선정하여 기술개발을 지원하고 있다.

2 연료전지의 원리

연료전지의 기본 작동 원리는 19세기 영국의 Grove 경에 의해 가시화되었으나 1960년대 와서야 비로소 우주선 및 군사용 목적으로 그 응용이 시작되었고, 1970년대 초 오일 파동 이후 민수용 목적으로 본격적인 개발이 진행되었다. 연료전지는 수소를 연료로 하여 전기를 발생시키는 일종의 발전기로서 물의 전기분해반응의 역반응을 이용하여 수소와 산소로부터 전기와 물을 만들어낸다. 그림 1에서와 같이 전

해질의 양쪽에 접해 있는 연료극과 공기극에 각각 수소와 산소를 공급하면 연료극에서는 수소가 수소이온과 전자로 분해되며, 수소이온은 전기적 부도체인 전해질을 통과하여 연료극으로 이동하게 된다. 공기극에서는 연료극에서 이동되어 온 수소이온과 전자 그리고 산소가 합쳐져서 물이 생성되는 반응이 일어난다. 이와 같은 반응을 통해 전기화학적 회로가 완성되어 수소와 산소로부터 전기와 물과 열이 생산되는 반응이 진행된다. 연료전지는 수소가 갖고 있는 화학에너지가 직접 전기에너지와 열로 변환시키기 때문에 기존의 내연기관이 갖고 있는 열역학적인 제한(Carnot 효율)을 받지 않아 발전 효율은 40~55[%]로 기존의 발전장치에 비해 매우 높으며, 전기뿐만 아니라 열을 이용하는 열병합발전을 채택하는 경우에는 효율이 85[%]에까지 이른다.



3. 자동차용 연료전지

고분자전해질 연료전지는 수소이온교환 특성을 갖는 고분자막을 전해질로 사용하는 연료전지로서 solid polymer electrolyte fuel cell (SPEFC), solid polymer fuel cell (SPFC), polymer electrolyte fuel cell (PEFC), 또는 proton-exchange membrane fuel cell (PEMFC) 등의 다양한 이름으로 불리고 있다. 다른 형태의 연료전지에 비하여 작동온도가 낮은 고분자전해질 연료전지는 효율이 높고 전류밀도 및 출력밀도가 크며 시동시간이 짧은 동시에 부하변화에 대한 응답특성이 빠른 특성이 있다[1-2]. 특히 전해질로 고분자막을 사용하므로 전해질 손실이 없고, 기존의 확립된 기술인 메탄올 개질기의 적용이 가능하며, 반응기체 압력변화에도 덜 민감하다. 또한 디자인이 간단하고 제작이 쉬우며 연료전지 본체 재료로 여러 가지를 사용할 수 있는 동시에, 부피와 무게도 작동원리가 같은 인산 연료전지에 비해 작다. 이러한 특성 이외에도 다양한 범위의 출력을 낼 수 있는 장점이 있기 때문에 고분자전해질

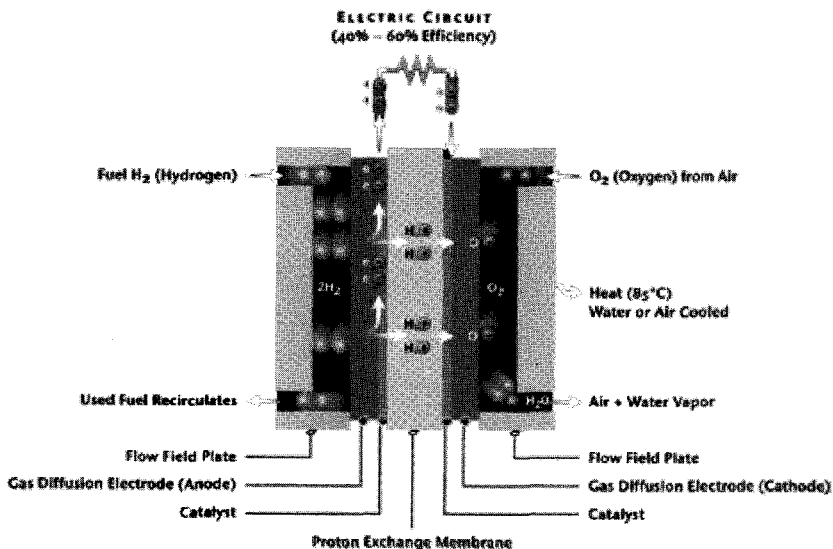


그림 1. 연료전지 원리 개념도

연료전지는 무공해 차량의 동력원, 현지설치형 발전, 우주선용 전원, 이동용 전원, 군사용 전원 등 매우 다양한 분야에 응용될 수 있다. 그러나 고분자 전해질 연료전지는 낮은 온도에서 작동되므로 폐열을 활용할 수 없고 고온에서 작동되는 개질기와 연계하기가 어렵다는 문제점이 있으며 전극촉매로 Pt를 사용하기 때문에 반응기체 내에서의 CO 허용치가 낮고 제조비용을 줄이기 위해서 촉매 함침량을 크게 낮추어야 하는 어려움이 있다. 또한 전해질로 사용하는 고분자막의 값이 매우 비싸고 운전 중에 고분자막의 수분 함량 조절이 어렵다는 단점이 있다.

4. 연료전지 자동차 개발 현황

환경오염 뿐 아니라 제한된 석유 매장량으로 인해 자동차사들은 친환경 자동차 개발에 박차를 가하고

있으며, 저탄소 배출 내연기관, 바이오 에너지 사용 차량, 하이브리드, 플러그인, 전지자동차, 수소연료 전지차 등이 개발되고 있다. 이 중 전지 자동차와 수소연료전지차가 석유경제 이후를 대비하는 자동차로 주목받고 있다.

에너지 문제는 궁극적으로 국가 안보와 직결될 수 있으므로 현재 선진국들은 독자적으로 수소 및 연료 전지 개발 프로그램을 운영하고 있다. 미국은 CCTP (Climate Change Technology Program, '07. 11), 일본은 Cool Earth - Innovative Energy Technology Program, '08.04), 유럽은 SET Plan(Strategin Energy Technology Plan, '07.11) 등을 통해 정부 차원에서 연료전지 자동차 개발을 지원하고 있으며 2015년 상용화 및 2020년 양산을 목표로 연구개발에 박차를 가하고 있다.

현대자동차는 2000년부터 수소연료전지차량 개발

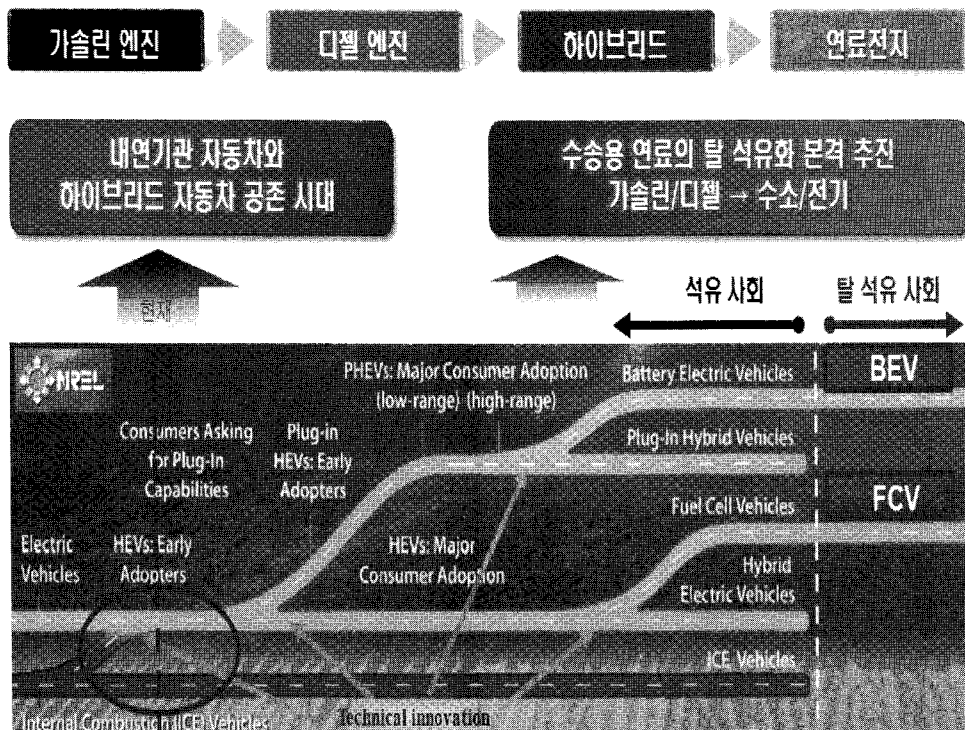


그림 2. 자동차의 친환경 패러다임 변화(자료 : NREL, 현대자동차)

특집 : 전기차 산업의 전망과 기술 및 기반구축 현황

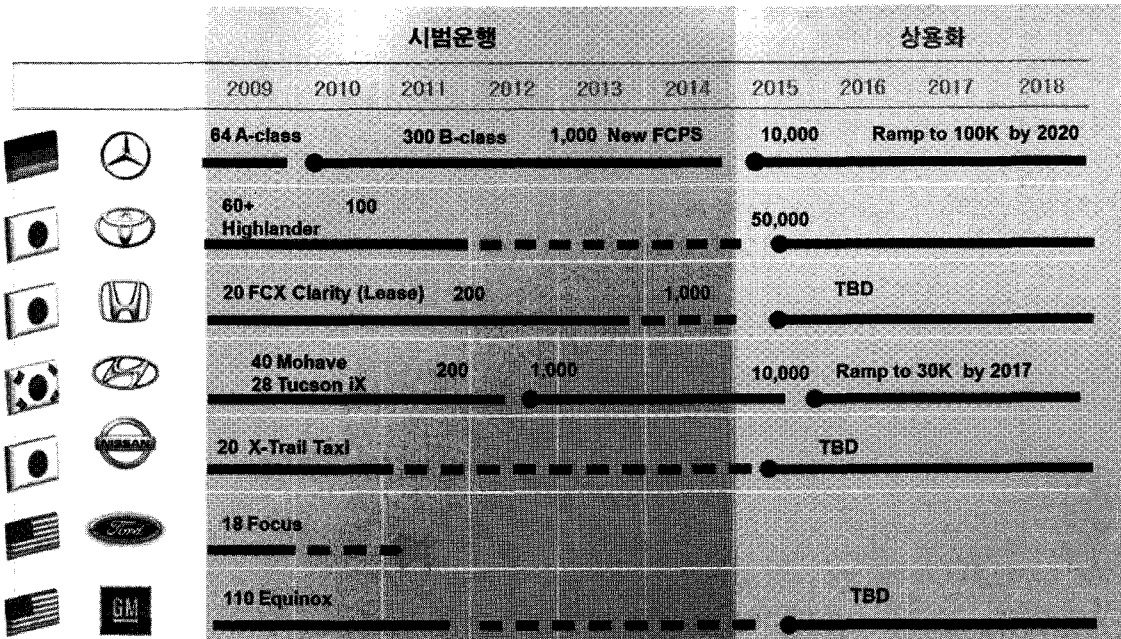


그림 3. 전 세계 주요 자동차사의 연료전지 자동차 상용화 로드맵(자료 : 현대자동차)



그림 4. 현대자동차의 연료전지 자동차(좌 : 모하비, 우 : 투싼 ix)

에 착수하여 2006년부터 자체 개발 스택을 탑재하였다. 현재는 모하비와 투싼 ix에 각각 115[kW], 100[kW] 급 스택을 장착하여 2011~2012년 지식경제부의 실증 사업을 통해 모하비와 투산을 각 50대씩 운행할 계획이다. 뿐만 아니라 2004년 9월부터 미국 DOE가 주관하는 '연료전지차 시범운영 및 수소충전소 인프라구축' 사업의 시행사로 선정돼 미국 주

요도시(3개 지역 5개 기관)에서 연료전지차를 시범 운행하고 있다.

현재 자동차용 연료전지 개발에 있어 기술적으로 해결해야 할 문제는 가격 저감과 내구성 향상, 출력밀도 향상 및 냉시동성 확보, 주행거리 향상 등이 있다. 가격저감과 내구성 향상을 위해서는 고가의 백금 촉매 및 나피온 전해질 막 대체 소재 개발, 막-전극 접

합체(MEA, membrane-electrode assembly) 제조 기술 개발, 운전 기술 개발 등이 다각도에서 진행되고 있다. 현재 연료전지 스택의 핵심 부품인 MEA는 대부분 수입에 의존하고 있으며, MEA를 구성하는 촉매, 전해질막, 탄소소재 등 핵심 소재도 대부분 수입에 의존하고 있어, 소재 및 MEA 제조 기술에 대한 원천 기술 개발이 시급한 실정이다.

스택 출력 밀도 향상은 그동안의 기술 개발을 통해 꾸준히 진행되어 왔으며 박판형 금속분리판과 유로 설계 기술 개발 등을 통해 640(W/L)의 시스템 출력 밀도를 확보하였다. 이는 미국 에너지성 (DOE, Department of Energy)의 2015년 상용화 목표치인 650(W/L)에 근접한 값이다. 또한 연료전지 스택 구동을 위해 필요한 공기공급계, 수소공급계, 열·물관리계 운전장치 등이 필요한데 현재 90[%] 정도의 국산화를 이루고 있다.

연료전지를 운전하면 공기극에서 반응생성물로 물이 발생할 뿐만 아니라 적절한 성능 확보를 위해 수소와 공기를 가습해서 공급하기 때문에 스택 내에 항상 물이 존재한다. 따라서 영하의 온도에서 원활하게 작동시키는 기술이 필요한데 현재 -20(°C)에서 시동성이 확보되었다.

주행거리는 스택의 효율에도 영향을 받지만 그 보다는 수소 저장 기술에 의해 결정된다. 2008년 개발된 모하비는 115(kW) 급 스택과 700기압 압축수소탱크를 탑재하여 최고속도 160(km/h), 주행거리 700(km)를 확보하였으며, 2010년 개발된 투싼 ix는 100(kW) 급 스택과 700기압 압축수소탱크를 탑재하고 최고속도 160(km), 주행거리 650(km)를 확보하였다. 이 차량을 2012년부터 3년간 2000대 규모로 소량 생산을 진행할 계획이다.

연료전지 자동차의 보급을 위해서는 연료전지 자동차 기술의 성숙과 함께 수소 충전소 인프라 구축이 필요하다. 현재 운영 중인 수소충전소는 주로 서울 경기 지역을 중심으로 2011년까지 총 13기가 운영될 예

정이다. 우리나라의 수소 생산은 대부분 석유화학 공정의부산물을 통해 이루어진다. 이때 발생하는 수소 생산량은 연간 10만톤 규모이며 이를 이용하면 연간 50만대 수소연료전지차를 운영할 수 있다. 국내 수소 충전소 보급 시나리오는 3단계에 걸쳐 이루어질 예정이다. 1단계는 인구밀집 지역인 수도권 주위와 부생 수소 생산 지역으로서 석유화학 공업 밀집 지역인 남부지방에 집중하여 2014년까지 20기의 충전소가 운영될 예정이며, 2단계는 대도시 위주로 확장해서 2020년까지 100여개의 충전소가 운영될 예정이다. 마지막 3단계(2030년까지)에서는 2단계의 대도시를 연결하여 전국적인 네트워크를 구성하는 500기의 충전소가 운영될 계획이다.

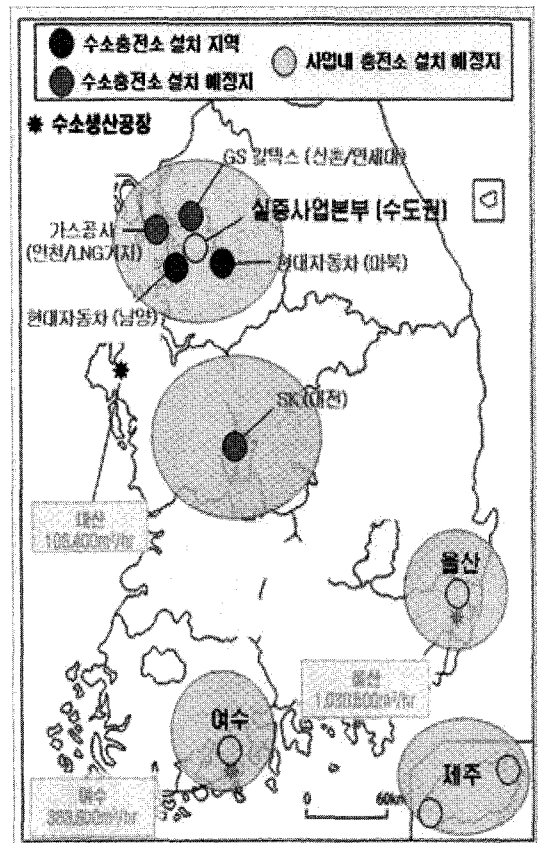


그림 5. 국내 수소 충전소 설치 현황
(자료 : 수소·연료전지 사업단)

5. 결 언

연료전지 자동차 연구개발 사업은 대략 2020년 경의 본격적인 산업화를 고려할 때 장기적 접근이 필요하다. 현재 진행되고 있는 대부분의 연구개발 프로그램은 기업주도 산업화 연구에 지원되고 있으나, 현재 연료전지 산업화를 위한 제반 기술적 장애요인은 내구성 및 가격저감 이슈이며 이러한 문제를 해결하기 위해서는 연료전지 핵심 부품의 소재개발, 내구성 향상 관련 연료전지 부품 열화기구, 촉매저감연구 등 원천·핵심 기술이 필요한 실정이다. 또한 아직 국내에 연료전지 사업이 전무하여 이를 제공하는 메이커가 없는데 연유한다. 향후 연료전지기술의 산업화에 대비하여 핵심부품 및 주변기기를 생산하는 기업을 육성하기 위한 연구개발 프로그램도 함께 추진되어야 할 것이다.

◇ 저 자 소 개 ◇



조은애(趙恩愛)

1974년 5월 28일생. 1992~1996년 KAIST 연료전지전공 졸업. 1996~1998년 KAIST 연료전지전공 졸업(석사). 1998~2002년 KAIST 연료전지전공 졸업(박사). 2000년 Pennsylvania State University 방문연구원. 2001년 일본 금속재료기술연구소 방문연구원. 2002~2004년 한국과학기술연구원 연구원. 2004년~현재 한국과학기술연구원 선임연구원. 2006~2007년 미국국립연료전지연구단, UC Irvine 방문연구원.
E-mail : eacho@kist.re.kr