

# 고분자 전해질막 연료전지 (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell; PEMFC) 기술개발 현황

## 1. 서론

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. 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 특성이외에도 다양한 범위의 출력을 낼 수 있는 장점이 있기 때문에 고분자전해질 연료전지는 무공해 차량의 동력원, 현지설치형 발전, 우주선용 전원, 이동용 전원, 군사용 전원 등 매우 다양한 분야에 응용될 수 있다. 그러나 고분자전해질 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 한계가 있다. 또한 전해질로 사용하는 고분자막의 값이 매우 비싸고 운전 중에 고분자막의 수분함량 조절이 어렵다는 단점이 있다.

고분자전해질 연료전지는 원래 1960 년대에 Gemini 우주선과 같이 특수 목적으로 사용되었으나, 1980 년대 말에 이르러 무공해 차량의 동력원으로 활용될 것이 기대됨에 따라 다시 활기를 찾게 되어 현재 전세계적으로 이에 대한 연구개발이 활발히 진행되어 오고 있다. 특히 Green Round (기후변화협약)를 통한 CO<sub>2</sub>의 총량 규제, 저공해 자동차 의무 판매를 통한 자동차 배기가스의 규제 등이 압박해 오며 따라 각국의 자동차 회사들은 연료전지 자동차와 같은 무공해 자동차의 개발이 급박하게 되었다. 연료전지 자동차는 환경친화성, 연료효율성 및 연료공급 편리성을 겸비한 자동차로서 차세대 자동차 중에서도 가장 실용화의 가능성이 큰 것으로 평가되고 있다. 또한 자동차용 연료전지 시스템이 실용화될 경우 자동차로 인한 환경오염과 에너지 소비문제를 완화시켜 줄 수 있을 뿐만 아니라 건물 및 일부 지역의 현지설치형 소규모 발전, 잠수함 및 이동통신 등과 같은 군수용 발전에 곧바로 활용될 수 있다.

## 2. 고분자 전해질막 연료전지 시스템 개요

### 2-1. 기본원리

고분자전해질 연료전지의 기본구조는 고분자전해질 막을 중심으로 양쪽에 다공질의 anode와 cathode가 부착되어 있는 형태로 되어 있으며 개략적인 구조는 Fig. 1과 같다.

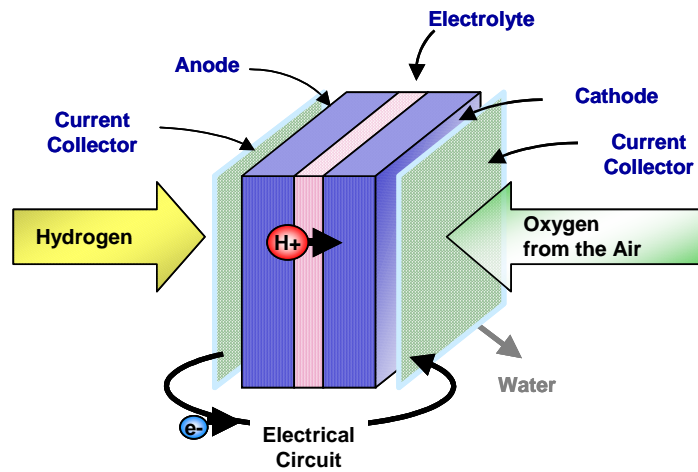
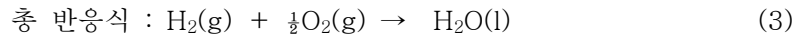
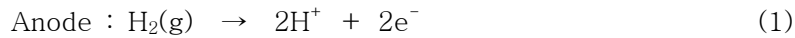


Fig. 1

Schematic diagram of the PEMFC operational principle.

Anode (산화전극 또는 연료극)에서는 연료인 수소의 전기화학적 산화가, 그리고 cathode (환원전극 또는 공기극)에서는 산화제인 산소의 전기화학적 환원이 일어나 이때 발생하는 전자의 이동으로 인해 전기에너지가 발생된다. 각 전극에서의 반응식과 총 반응식은 다음과 같다.



고분자전해질 연료전지 운전 시 반응온도는 전해질로 사용되는 고분자막의 열적 안정성과 이온전도도에 의해 결정되는데 보통 50 ~ 100 °C에서 작동된다. 반응기체의 압력은 상압에서 8 기압까지 가능하며 일반적으로 고분자막 양쪽 모두 같도록 유지하는데, 이것은 고분자막을 통한 반응기체의 crossover를 최소화하기 위한 것이다. 반응기체의 crossover는 전지의 전압을 강하시킬 뿐만 아니라 수소와 산소가 섞여 폭발 위험성을 증가시키게 된다.

## 2-2. 구성

고분자전해질 연료전지의 주요 구성요소는 고분자전해질 막과 전극 (anode, cathode), 그리고 스택을 구성하기 위한 분리판 (separator)으로 이루어져 있다. 특히 anode 와 cathode의 두 전극을 고분자전해질 막에 hot-pressing 방법으로 부착시킨 것을 고분자전해질 막-전극 접합체 (membrane-electrode assembly, MEA)라고 하는데, 이러한 MEA의 구성과 성능이 고분자전해질 연료전지의 핵심이라고 할 수 있다. 연료전지 스택 (stack)은 전기화학반응이 일어나는 단위전지 (single cell)를 수십, 수백개씩 적층함으로써 구성되는데, 단위전지나 스택은 구성요소간의 접촉저항을 줄이기 위하여 양쪽 끝판 (end plate)을 tie rod나 공기압으로 압착하게 되어 있다. 양쪽 끝판에는 반응기체의 출구 및 입구, 냉각수 순환구, electric power output을 위한 connection이 설치되어 있다. Fig. 2는 이러한 Ballard의 고분자전해질 연료전지 스택 개념도를 나타낸 것이다. 실제 시스템은 이러한 스

택 외에도 연료개질기, 공기압축기, 열 및 물 처리기, 전력변환기 등으로 이루어진다.

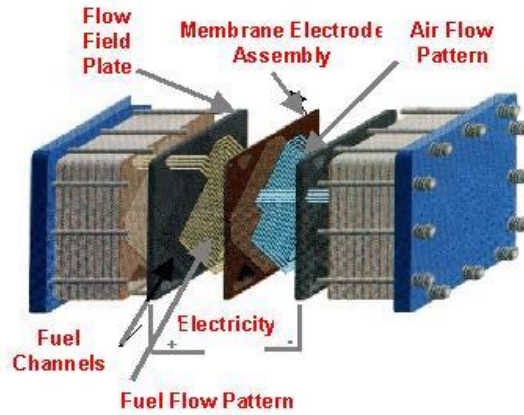


Fig. 2 Schematic

diagram of the Ballard PEMFC stack.

### 2-3. 용도

고분자전해질 연료전지는 높은 출력 밀도, 100℃ 이하의 낮은 작동 온도와 전해질의 높은 부식저항성 등의 장점을 비롯하여, 설치장소의 제약이 적고, 설비 구조의 단순화 및 소형 설비 가능(수 kW 설비), 높은 반복작동 안전성(편리한 운전 안전성), 상온 작동 및 짧은 시동 시간(비상용 및 군사용 전원) 등의 장점을 지니고 있어 산업용으로 사용하는 250kW급 모듈에서부터 수십 kW급의 상업용, 수 kW급의 주거용, 80kW급의 승용차용, 150kW 전후의 버스용에서부터 1kW 미만의 소형 연료전지뿐 아니라 subwatt급의 IT용까지 넓은 범위의 제품에 적용할 수 있다.

## 3. 국가별 기술 개발 동향

고분자전해질 연료전지는 많은 종류의 연료전지 중 개발 경쟁이 가장 치열한 분야 중 하나이며 앞서 언급한 바와 같이 발전용, 수송용 및 수송용 및 휴대용 등 매우 넓은 분야에 응용을 목표로 전 세계적으로 개발되고 있다. 세계 주요 국가의 고분자전해질 연료전지의 개발 현황을 정리하면 다음과 같다.

### 4-1. 미국

고분자전해질 연료전지에 대한 연구는 1955년 미국의 General Electric (GE)에서 처음으로 시작되었다. 초창기에는 GE Research Laboratory에서 행해지다가 1960년 경부터는 GE Direct Energy Conversion Operation이라는 기구에 의해 파워플랜트 설계 및 제작이 행해졌다. 1962년 GE는 Gemini Space Program에 의해 1 kW급 고분자전해질 연료전지 스택 2개로 이루어진 모듈을 개발하여 Gemini 3호부터 12호까지 사용하였다. GE 기술은 1985년 United Technology Corp. (UTC)/Hamilton Standard Division으로 이전되었고 이후 Ergenics Power Systems Inc. (EPSI), Treadwell, Los Alamos National Lab. (LANL), International Fuel Cells (IFC), General Motors (GM), Giner Inc., Texas A&M, Analytic Power 등이 고분자전해질 연료전지 개발을 시작하였다. 1990년 DOE는 Ballard, LANL, Dow, GM, Argonne National Laboratory (ANL)과 함께 1996년까지 50kW급 연료전지 자동차를 개발하는 계획을 세워 1993년 10kW 시스템을 개발하였고 현

재 30kW 시스템 개발을 완료하였다. 1993년에 들어서서 DOE는 이와는 별도로 GM, Ford, Chrysler (후에 DaimlerChrysler로 합병) 등의 자동차 회사, LANL, ANL 등의 연구기관, 기업연구소, 대학 등과 함께 고분자 전해질 연료전지 시스템 개발을 위한 The Partnership for a New Generation of Vehicles (PNGV) 프로그램을 새로이 시작하였다. 이 프로그램에서는 고성능 연료전지 스택 기술 개발, 연료개질기 개발, 전극촉매 성능 및 수명개선, 고성능-저가의 요소재료 개발, 공기제어를 위한 고성능 소형 압축기의 개발, 연료전지 시스템 통합기술 개발 등을 통하여 에너지 효율이 높고 환경 친화적인 차세대 차량을 개발함으로써 미국기업의 경쟁력을 강화하는데 목적이 있다. 이 프로그램이 성공하면 2000년까지 50kW급 연료전지 스택 시스템 기술을 개발되고 이후 실증시험을 거쳐 2004년 까지는 성능, 범위, 안전도 및 신뢰성 면에서 내연기관과 가격경쟁력을 갖춘 자동차용 연료전지 시스템이 개발되게 된다. 따라서 GM, Ford 및 Chrysler가 주축이 된 산업계에서는 DOE의 협조하에 공동으로 비용을 부담하여 현재 10-50kW급 연료전지 시스템을 개발하고 있으며 특히 GM은 메탄올 연료전지 시스템, Ford는 가솔린 연료전지 시스템, 그리고 Chrysler는 수소 연료전지 시스템을 주로 개발 중에 있다. 한편 UTC와 Toshiba의 합자회사인 IFC는 잠수함용 20kW급 스택을 개발한 바 있고 1997년 9월부터 Arthur D. Little사와 함께 가솔린, 메탄올, 및 천연가스로 운전되는 50kW급 고분자 연료전지 시스템 개발을 시작하였다. 한편 Treadwell의 연료전지 기술을 승계한 Energy Partner는 1996년 molded graphite 분리판과 Gore의 MEA를 사용한 10kW 스택을 Ford에 제공하였으며 3개의 60셀 스택 (780 cm<sup>2</sup>/cell)으로 구성된 자동차용 15 kW 고분자 전해질 연료전지 스택을 제작하여 최대출력 2W/cm<sup>2</sup>, 최고전류밀도 6A/cm<sup>2</sup>의 결과를 얻은 바 있다. 또한 이러한 스택을 이용하여 시범용 battery/연료전지 hybrid 자동차인 "EP Green Car"를 1993년에, "Genesis"를 1995년에, "Gator"를 1996년에 각각 선보였으며, 현재는 개질기로 운전될 수 있는 50kW급 연료전지 스택을 개발 중이다. 이외에도 Allied Signal (자동차용), H-Power (발전용, 휴대용), Plug Power (발전용, 자동차용), Ergenics Power Systems, Inc. (우주선용, 휴대용), Analytic Power (휴대용, 선박용), UTC/Hamilton Standard Division (잠수함용), Treadwell (우주선용, 잠수함용), Vickers (잠수함용), Perry Energy (잠수함용)도 고분자 전해질 연료전지 스택개발이나 응용에 참여하고 있다.

#### 4-2. 캐나다

1984년부터 고분자 전해질 연료전지 스택 개발을 시작한 Ballard Power Systems은 1987년 2kW 스택 개발에 성공한 후 성능향상과 용량증대에 주력하여 1989년에는 10kW 스택을 Dow Chemical Plant에 설치, 운전하였다. Ballard는 이때부터 본격적으로 자동차로의 응용연구를 시작하여 1993년에 5kW 스택모듈 24개를 연결한 120kW 급 (실제 작동출력은 90kW) 연료전지 버스를 세계 처음으로 선보였다. 이 연료전지 버스는 2,000 km 이상의 주행실험을 통하여 만족할만한 결과를 보였으며 연료로는 3,000 psig의 압축수소를 사용하여 160km를 주행하였다. 1995년에는 같은 부피에서 2배의 성능을 보이고 주행거리가 400km인 260 kW 급 (13kW x 20; 실제 작동출력은 205kW) 연료전지 버스의 제작에 성공하여 1997년에 3대의 시범버스를 Chicago Transit Authority에 인도하여 운행중에 있고 1998년에도 3대의 시범버스를 BC Transit에 인도하였다. 이와같은 시범운영이 성공적으로 끝나면 상업적 생산에 들어갈 예정이다. 현재 Ballard는 연료전지 버스를 자체 제작하고 있을 뿐 아니라 DaimlerChrysler, GM, Ford, Honda, Nissan, Volkswagon, Volvo, Hitachi, Matsushita Electric Works, GPU International, GEC Alsthom 등과 같은 회사에 자동차용 혹은 발전용으로 스택을 공급해 주고 있다. 특히 DaimlerChrysler는 Ballard의 스택을 이용한 연료전지 승용차의 개발에 주력하고 있으며 (다음 유럽현황 참조) 1997년에는

DaimlerChrysler, Ballard 및 Ford가 함께 공동출자회사를 설립하여 자동차용 고분자 전해질 연료전지 스택의 개발과 엔지니어링에 대한 연구를 진행중에 있다. 현재 DaimlerChrysler에 제공한 50kW 스택의 부피출력밀도는 1kW/liter로서 향후 상업적 생산에서 사용될 75kW 스택의 부피출력밀도 목표는 1.4kW/liter로 계획하고 있다. 또한 수명은 4,000시간, freeze tolerance는 -25℃을 목표로 하고 있다. 또한 Ballard에서는 발전용으로 천연가스를 이용한 10kW 스택 및 chlor-alkali 공정의 부산물인 수소를 이용한 30kW 스택을 제작한 바 있으며 이를 기반으로 1997년에 250kW 발전시스템 개발에 성공하였다. 이외에도 Ballard는 휴대용 스택, 잠수함용 스택을 개발한 바 있다.

#### 4-3. 일본

일본의 경우에는 통산성 공업기술원 산하 신에너지 개발기구 (New Energy Development Organization, NEDO) 주도로 시작된 Moonlight Project의 일환으로 1992년부터 2001년까지 10년 프로젝트로 고분자전해질 연료전지에 대한 연구개발을 추진 중이며, 9개 회사 (Toshiba, Mitsubishi Electric, Sanyo Electric, Asahi Chemical, Asahi Glass, Hitachi, Sumitomo Electric, Aisin Seiki, Imura Material)가 요소기술 개발을 분담하여 1996년에 1 kW module을 제작하였다. 한편 Fuji Electric 및 Mitsubishi Heavy Industries는 1989년부터 개발을 시작하여 1994년에 5 kW 스택을 제작하였으며 Matsuda는 1992년 Ballard의 7.8 kW 스택을 이용하여 2인승 골프카트를 제작한 후 1997년 연료전지 시험차를 개발하였다. Honda는 1989년부터 고분자전해질 연료전지 개발을 시작하여 현재 6kW (0.2kW/liter) 스택을 제작하였고 Nissan도 1996년부터 Ballard의 스택을 이용한 연료전지 자동차 개발을 진행 중에 있으며 한편으로 연료개질기가 필요없어 장치가 비교적 간단한 direct methanol fuel cell (DMFC) 개발에 초점을 두고 있다. Toyota는 1990년부터 연구개발을 시작하여 1996년에 metal hydride를 이용한 15kW급 (0.15kW/liter) 연료전지 자동차를 개발하였고 1997년에는 메탄올을 연료로 사용하고 주행거리가 500km인 25kW급 연료전지 자동차 Prototype을 개발하였다.

#### 4-4. 유럽

독일의 DaimlerChrysler는 Ballard 스택을 자동차에 적용하는 연구를 수행하여 1994년에 50kW 스택 (12개의 스택모듈, 167W/liter)을 이용하고 압축수소를 연료로 사용하는 NECAR (New Electric Car) 미니밴을 개발하였고 1996년에는 성능이 향상된 50kW 스택 (2개의 스택모듈, 1kW/liter)과 압축수소를 이용한 NECAR II 승용차를 개발하였다. 1997년에는 압축수소 대신 40 liter의 메탄올을 연료로 사용하고 주행거리가 400km인 NECAR III를 개발한 동시에 190kW 스택과 수소를 사용하는 NEBUS (New Electric Bus) 연료전지 버스를 개발하였다. 특히 DaimlerChrysler와 Ballard는 2004년부터 전기자동차와의 경쟁을 위하여 연간 40,000 대 규모의 양산을 목표로 연구개발을 진행 중에 있으며 여기에는 Ford가 참여하고 있다. 독일의 Volkswagen도 Ballard의 스택을 이용한 연료전지 자동차 개발을 진행 중에 있다. 한편 독일의 Siemens는 UTC/Hamilton Standard Division의 기술을 이용하여 1993년에 잠수함용 34 kW급 스택을 개발한 후 250kW 급 스택을 개발 중에 있다. 이태리의 ENEA와 De Nora (후에 Nuvera로 변경)는 1988년부터 공동연구에 들어가 1991년 금속 분리판을 사용한 10 kW급 스택 (0.3kW/liter)을 개발하였으며, 특히 Ansaldo는 De Nora의 30-120 kW급 스택을 이용한 승용차, 버스, 보트를 개발하기 위하여 여러 가지 프로그램을 운영하고 있다. 특히 유럽의 선두 자동차 제작회사의 하나인 이태리의 Renault는 Fuel Cell Powered Vehicle for Efficiency and Range (FEVER)라는 프로그램으로 De Nora 스택을 이용한 연료전지 자동차를 운행시킬 계획을 수행 중에 있다. 네덜란드의

ECN은 1995년 5kW급 Ballard스택을 1개 구입하여 운전연구를 수행한 바 있으며 현재는 5kW Ballard 스택 4개를 운전하는 시스템 조합연구를 수행 중에 있다. 이외에 프랑스, 영국, 스웨덴 등이 공동으로 혹은 단독으로 스택개발이나 응용 프로그램에 참여하고 있으며, 러시아의 Kurchatov 연구소는 4 kW급 스택개발에 성공하고 10 kW 급 스택개발을 준비 중이었으나 예산 부족으로 연구개발을 중단한 상태이다.

#### 4-5. 한국

국내에서는 1987년 대체에너지 개발촉진법에 의거하여 에너지관리공단 산하의 에너지자원기술지원 센터에 의해 연료전지 개발 기본계획이 확정되었다. 이 기본계획에 의하면 발전용 고분자전해질 연료전지의 경우 1단계 (1988-1991)에서 기초연구, 2단계 (1992-1996)에서 1kW급 스택 개발, 3단계 (1997-2001)에서 15kW급 시스템 개발, 그리고 4단계 (2002-2006)에서 25kW급 시스템 개발을 목표로 하고 있다. 그러나 연구기관의 사정에 따라 이 계획은 계속 수정이 가해져 현재까지 진행되어 오고 있다. 우선 1단계에서는 1989년부터 1991년까지 포항공대가 기초연구를 수행하였으며 포항공대는 2단계의 1차년도인 1993년까지 이사업에 참여하였다가 1994년에 기존의 대체에너지 프로그램이 과학기술부와 산업자원부와 함께 지원하는 선도기술개발사업의 신에너지분야로 이관된 후 1994년부터는 한국가스공사가 주관하게 되었다. 한국가스공사는 1995년에 E-Tek 전극을 사용한 1kW 스택을 제작하고 약 2,000시간 동안 운전하였으나 이사업은 회사내의 사정으로 중단되고 1996년부터 한국에너지기술연구소가 주관하여 1998년에 3단계의 중간목표인 현지 설치형 전원용 5kW 고분자전해질 연료전지 시스템을 개발하였다. 이 연구개발사업에는 한화 종합연구소, 연세대, 한양대, 경북대 등이 함께 참여하고 있다. 이사업은 가정용 5kW 고분자전해질 연료전지 시스템의 개발을 목표로 2001년도 말까지 계속 진행되었으며 현재에는 LG-Caltex의 벤처회사인 CETI가 가정용 연료전지의 실용화를 위해 연구를 진행 중에 있다.

한편 1996년 한국과학기술연구원에서는 수송용 고분자전해질 연료전지용 고성능 kW급 스택본체 개발을 목표로 연구를 시작하여 전극, MEA, 분리판 등의 구성요소 및 이를 이용한 단위전지 제작 기반기술을 확립하였으며 1997년에 200W급, 1998년에 1kW급, 1999년에 4kW급, 2000년에 7kW급 스택을 개발하였다. 2000년에는 7kW급 스택을 이용하여 연료전지/배터리 하이브리드 골프카트를 개발하였다. 한편 선도기술개발 사업의 차세대 자동차 분야에서도 연료전지 자동차의 개발이 성안이 되어 1단계 (1998. 11-2000. 10)에서 10kW 스택 개발, 2단계 (2000. 11-2002. 10)에서 25kW 연료전지 차량 개발을 목표로 과제가 진행되고 있다. 1단계에서는 현대자동차와 한국과학기술연구원이 10kW급 스택 및 이를 이용한 연료전지/배터리 하이브리드 자동차 (스포티지)를 개발하였고 동시에 대우자동차와 한국에너지기술연구원이 5kW 스택 2기를 연결한 10kW급 스택 및 이를 이용한 연료전지/배터리 하이브리드 자동차 (레조)를 개발하였다. 그러나 2단계부터 대우자동차와 에너지기술연구원이 자체 사정으로 인하여 차세대 자동차 개발사업 참여를 중단하게 되었다. 한편 현대자동차는 자체 프로그램으로 UTC의 연료전지를 이용하여 75kW급 연료전지자동차를 개발하여 주행시험을 수행중에 있다.

이외에도 현대중공업은 울산대와 함께 군수산업용 동력원로서의 응용을 위해 1997년부터 자체적으로 연구개발을 시작하였으며, 현재는 E-Tek전극을 사용하여 제작한 1kW급 스택을 운전 중에 있다. 삼성종합기술원도 1997년부터 무공해자동차 동력원 또는 휴대용 전원으로의 응용을 위해 소형 스택을 개발하고 있다. 국내에서의 스택 분리판에 대한 가공 및 제작은 승림카본, 대양산업, 가람 등의 회사에서 이루어지고 있는데 각 회사는 graphite 판에 resin을 함침시킨 후 주어진 유로설계에 따라 기계가공을 하고 있다. 한편 서울대, 연세

대, 한양대, 울산대 등 일부 대학에서도 고분자 전해질 연료전지에 대한 기초연구를 수행하여 오고 있다. 현재 고분자 전해질 연료전지와 관련하여 국내에서 연구하고 있는 연구기관들은 KIST, KIER, 현대자동차, LG-Caltex, CETI, 삼성종합기술원, 서울대, 연세대 등 여러 기관이 있다.

하지만 상기와 같이 고분자 전해질 연료전지 연구개발에 있어 단기간에 괄목할 만한 성장이 있었음에도 불구하고 국내의 연구개발 수준은 아직은 연구경험 및 기술수준의 열세 등으로 인해 선진국에 비해 크게 뒤떨어져 있는 상태이다. 구성요소 제조에 대해서는 기본적인 기술습득이 이루어진 상태라고 볼 수 있으나, 성능향상, 대면적화, 신뢰성 및 장기성능 제고 등에 대한 연구가 보다 집중적이고 지속적으로 이루어져야 할 것이다. 성능향상을 위해서는 완화된 조건에서의 출력밀도 향상, 고분자 전해질 막의 표면처리, 새로운 MEA 접합법에 의한 ohmic 저항의 감소, 촉매량과 전해질양의 저감, 촉매 활용효율의 제고, 온도 및 물의 효과적인 관리 등의 분야에서 심도있는 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 Pt 외에 Cr, Co, Ni 등을 포함하는 합금촉매의 개발, 새로운 고분자막 가습공정의 개발 등도 연구되어야 할 분야이다. 특히 스택을 제작하기 위해 전극을 대면적화하는 경우 현재의 국내 기술수준으로는 성능감소가 불가피하여 이를 극복하기 위한 기술개발이 필요하며 또한, 단위전지 및 스택의 신뢰성을 검증하기 위한 장기운전이 필요하다. 한편 스택 제작기술 면에서도 분리판의 유로 설계, 가습방법, 가스밀봉, 스택경량화 등에 대한 독창적인 기술확보를 위한 연구개발이 요구된다. 현재 이에 대한 연구개발은 외국 기술의 모방 및 일부 기술의 국산화 단계에 있으며, 연료전지의 실용화에 필요한 저 가격화, 소재의 국산화, 경량화, 시스템 신뢰도 향상 등에 대한 연구는 아직 이루어지지 않고 있는 형편이다. 따라서 국내에서의 고분자 전해질 연료전지에 대한 본격적인 연구는 1994년에 한국가스공사에서 시작되어 이제 겨우 10년여 밖에 되지 않았기 때문에 선진국과의 기술격차는 매우 크다고 할 수 있다. 구성요소 제조기술은 어느 정도 기술발전이 이루어진 것으로 보여지지만 스택의 대형화, 성능 및 장기수명 등에 대해서는 아직도 해결하여야 할 문제점이 많으며, 기초연구 또한 많은 분야에서 심도있게 이루어져야 할 것이다. 특히, 외국의 Ballard나 Nuvera와 같은 선진회사와 경쟁하기 위해서는 국내 연구기관들이 동시다발적으로 연구를 진행하여 다양한 분야에 적용할 수 있는 고성능, 대용량 스택 제조에 대한 경쟁력 있는 고유기술을 개발하여야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

이상에서 살펴본 바와 같이 선진 각국은 고분자 전해질 연료전지의 개발을 위해 정부 및 기업 차원에서 막대한 연구 자원을 장기간 지원해 왔으며, 앞으로도 계속할 전망이다. 자동차 산업을 주력산업으로 하는 우리나라도 최근 연료전지를 10대 성장산업의 하나로 선정하여 산업자원부 산하에 수소 연료전지 사업단을 발족하여 연구 개발비의 지원뿐만 아니라 구체적인 상용화 개발 전략수립하는 등 향후 막대한 시장이 예상되는 연료전지 분야의 기술을 개발하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 이러한 국가적인 지원과 뛰어난 개발 전략이 이루어질 때에 개발비의 절감, 조기 시장 진입이라는 성과도 가져올 것으로 기대된다.