

## 가정용 연료전지 발전기술

임 희 천

한국전력공사 전력연구원  
신에너지그룹 책임연구원

### 1. 연료전지 발전은 ?

1897년 에디슨이 탄소선 전구를 완성시켜 전기를 통하여 전 세계에 빛을 밝힌 이래 전기에너지는 다양한 용도로 사용되면서 인류 문명사회를 지탱하는 중요한 에너지원으로 자리 잡았다. 그러나 이러한 전기에너지는 현재 그 대부분이 화석연료를 연소시켜 발전하는 “화력 발전”이다. 그러나 이와 같은 화력발전 방식은 발전할 때 다량의 연료를 연소시켜 많은 양의 질소산화물, 이산화탄소 등을 생산하기 때문에 지구 온난화 문제 등 지구 환경문제에 자유롭지 못한 점이 있다. 따라서 이와 같은 공해요인을 없애고 현재의 에너지 시스템을 유지하면서 우리가 필요로 하는 전기를 충분히 얻기 위하여 공해요인이 없으며, 효율을 극대화 할 수 있는 직접발전 방식이 필요하다. 이러한 발전방식이 바로 연료전지 발전방식이다.

연료전지는 연료가 가지고 있는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 직접발전 방식으로 공해요인이 없이, 높은 효율로 발전할 수 있기 때문에 도심에 위치하는 소규모 발전소에서부터 대규모 중앙 집중 화력 발전소까지 다양한 형태로 사용할 수 있다.

### 2. 분산형 발전방식으로 연료전지 발전

지금까지 발전전원은 전원 대규모화로 발전효율을 높이고 경제성을 향상시키는 방향으로 진행되었다. 그러나 대형 발전설비는 설치장소 선정이 쉽지 않고, 공해요인이 많이 발생되기 때문에 건설과 증설이 용이하지 않다는 문제점이 있다. 이와 같은 상황에 대처하기 위하여 발전설비를 소형화하여 건설기간을 축소하고, 급격한

전력수요에도 빨리 대응할 수 있는 전원이 필요하게 되었다. 또한 현재 정보 통신 발달에 따라 전력산업 분야의 구조 조정이 빠르게 이루어지고 있다. 새로운 구조 하에서 전력산업은 발전사업자와 송전사업자가 별도로 영업을 하게 되고, 발전사업자는 송전망을 이용하여 직접 소비자에게 전기를 공급하게 된다. 이와 같은 경우 소비자는 좋은 품질 및 값이 싼 전원을, 발전사업자는 환경문제에 대응이 가능하고, 짧은 기간에 적은 투자에 의한 발전설비를 갖추기를 원하게 된다.

열과 전기를 동시에 공급할 수 있는 소규모 연료전지 발전방식은, 열과 전기를 필요로 하는 수요자 요구에 직접 연결되며, 송배전설비 사용을 줄여 전력사용 비용을 저감할 수 있다. 반면 발전사업자는 짧은 기간, 적은 투자비로 필요한 전원을 확보할 수 있는 장점을 가지게 된다. 이와 같은 형태 즉 일정한 지역 즉 아파트 단지나 고층빌딩 등 열 및 전기를 필요로 하는 일정 수요지 근처에 수 kW에서 수천 kW 정도가 되는 연료전지를 설치하여 열과 전기를 동시에 공급하는 발전소를 분산형전원(Distributed Type)이라고 한다. 이와 같은 소규모 연료전지발전소는 대규모 화력발전 설비를 보완할 수 있으며, 전력계통 신뢰성을 갖게 하는 장점도 가지고 있다.

### 3. 가정용 연료전지 발전설비 (Residential Power Generator)

분산형 연료전지 중에서 현재 가장 각광을 받고 있는 것이 가정용 연료전지(RPG: Residential Power Generator)이다. 누구나 한번쯤은 외부 도움 없이 자기 집 안에서 난방과 냉방을 해결하고, 전기를 사용할 수 있다면 아주 편리하다고 생각할 것이다. 가정에서 사용하는 에너지는 전체 국가 사용 에너지의 약 20% 정도를 차지하기 때문에 가정에서 사용되는 전기의 효율적 사용이 국가 에너지 절

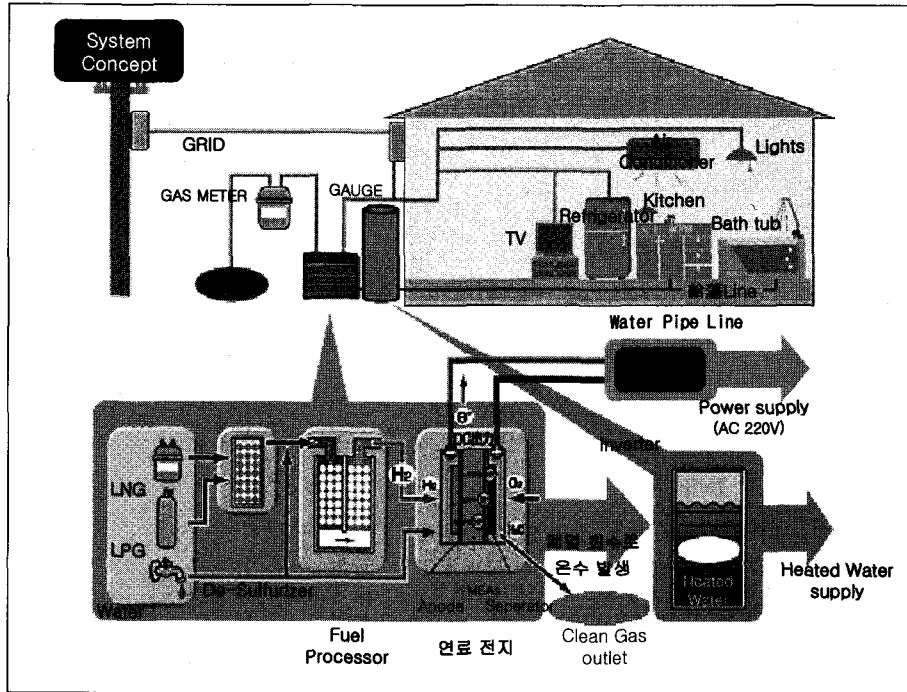
약 및 공해 요인 저감에도 아주 중요하다. 보통 전기에너지 생산은 항상 열 생산을 수반하나 난방을 위한 열의 운반은 아주 어려워 전기를 생산하는 자리에서 열을 같이 사용할 수 있는 열병합발전은 에너지의 효율적 이용에서 가장 이상적인 형태가 된다.

가정은 열과 전기를 동시에 생산 소비할 수 있는 가장 좋은 장소로, 파이프를 공급되는 도시가스를 이용하여 배기가스가 적고 소음이 없는 현지설치형 소형 연료전지 발전시스템을 이용, 열과 전기를 생산하여 사용한다면 가장 이상적인 가정용 에너지 시스템이 될 수 있다. 실제 가정용 연료전지 경제성, 환경 특성 및 에너지 절약 효과 등이 고려되어야 한다. 일본전기공업회 보고에 따르면 가정용 연료전지는 약 20~40% 정도 에너지절약 효과, 28~40% 정도 CO<sub>2</sub> 삭감 효과 그리고 63~90% 정도의 NO<sub>x</sub> 저감 효과가 있는 것으로 보고하고 있다.

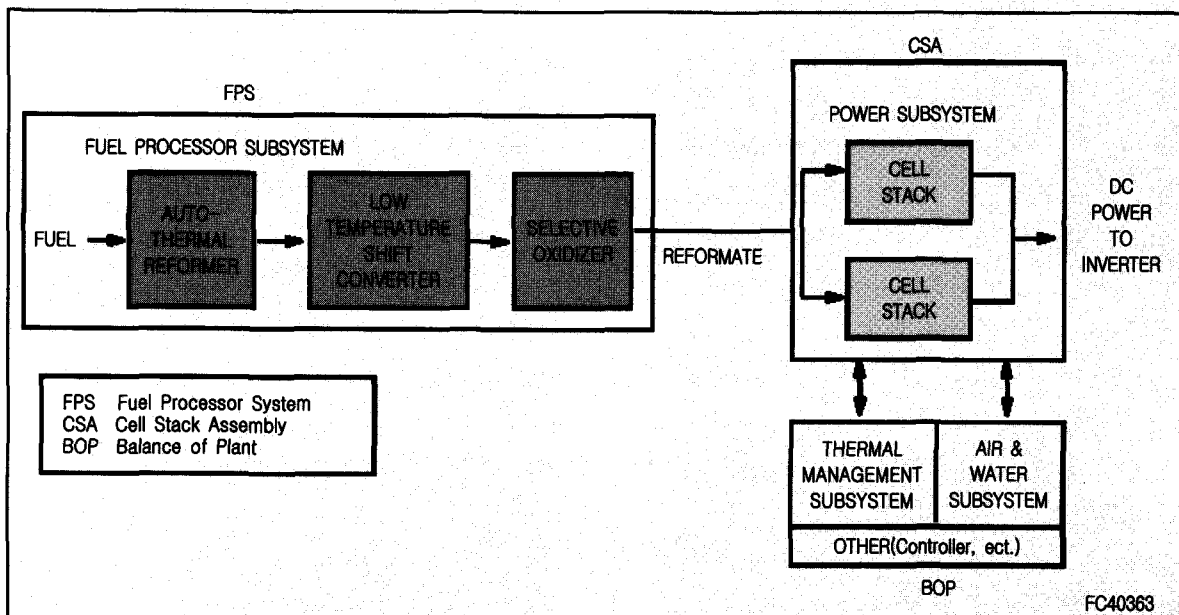
가정용 연료전지 발전 시스템은 발전 효율이 높고, 저온에서 동작하면서 전체 시스템이 고체로 되어 있는 고체 고분자형 연료전지(PEMFC : Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell) 및 고체 전해질 연료전지(SOFC : Solid Oxide Fuel Cell)가 그 대상이 된다. 통상 수 kW 규모에서 수십 kW급 용량의 발전설비가 개발되고 있다. 가정용 연료전지 외에도 소규모 연료전지 발전 시스템은 전원계통과 떨어져 있어 전기가 공급되지 못하고 있는 낙도 전원으로 또한 호텔, 병원, 음식점 등에서도 광범위하게 적용될 수 있다.

#### 가. 가정용 연료전지 시스템 개요

가정용 연료전지 시스템의 기본적인 개념은 우선 도시가스를 연료로 사용하며, 발전된 전기량은 계통과 연계되어 가정에서 사용하는 부하를 공급하며, 시스템에서 발생된 온수를 저장하여 필요시 사용하는 개념으로 된다. 이와 같은 기본 구성 예를 그림 1에서 표시하고 있다. 따라



〈그림 1〉 가정용 연료전지 개념 및 적용



〈그림 2〉 가정용 연료전지 시스템 구성(PEMFC 예)

서 가정용 연료전지의 시스템 구성은 전원 Unit, 저장 Unit 그리고 인버터 등 3가지로 구성된다. 전원 Unit는 개질장치, 연료전지 모듈, 승압 Converter, 제어장치 등을 수납하고 있다(그림 2 참조).

연료전지 본체(CSA: Cell Stack Assembly)는 수소와 산소를 전기화학 반응을 일으켜 DC 전기를 발생하는 부분이다. 가정용 연료전지 본체로 가장 많이 사용되는 연료전지 형태가 고체 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)이다. 전기를 생산하는 가장 기본적인 요소는 단위전지(Unit Cell)이라고 하는데, 통상 0.6에서 0.8V 정도의 아주 낮은 전압을 얻게 되기 때문에 원하는 전기 출력을 얻기 위하여 이 단위전지들을 여러 장 쌓아 올려 필요로 하는 만큼 전압을 상승시켜 전기를 인출한다. 고체고분자 전해질 연료전지의 경우 단위전지는 Carbon 전극과 전해질 그리고 냉각판 등으로 구성되어 있고, 전해질로는 고분자막을 사용하며, 작동온도는 80℃ 정도로 낮은 온도에서 운전이 가능하다. PEMFC의 경우 연료로 사용되는 개질 가스 중 CO 성분이 촉매로 있는 백금을 피독시켜 성능을 저하시키기 때문에 이에 대한 대비가 필요하다. PEMFC의 가장 큰 과제는 코스트 다운이다. 주요 구성재의 가격 저하와 함께 가습방법 및 배열을 이용하는 방법의 개선이 필요하다.

또 다른 가정용 연료전지 형태는 고체전해질 연료전지(SOFC)이다. 고체전해질 연료전지(SOFC)는 1000℃ 고온에서 동작하기 때문에 촉매가 필요 없어 CO에 대한 피독은 없지만 고온 재료 개발이 필요하다. 고체전해질 연료전지를 사용하는 경우 바로 탄화수소계통의 연료를 사용할 수 있기 때문에 개질장치가 필요하지 않다는 특징도 가지고 있다.

연료전지는 연료로 수소를 사용한다. 천연가스와 같은 연료를 사용하는 경우 연료 개질장치(FPS: Fuel Processing System)를 사용하여 연료전지에 필요한 수소를 만

들어 연료전지 본체로 공급하게 된다. 가정용 연료전지는 천연가스, 메탄올 등을 연료로 하여 여기에 수증기를 집어 넣어 수소와 일산화탄소, 이산화탄소 등을 얻는 수증기 첨가 개질 방법(Steam Reforming)을 이용하여 수소를 생산한다. 개질장치는 개질용 촉매를 사용하게 되는데 기기 내열 사이클 성능 및 내구성 향상이 아주 중요하다.

연료 개질과정은 반응열을 공급하기 위하여 많은 양의 에너지를 필요로 한다. 이와 같은 많은 반응 연소열을 얻기 위하여 연료를 부분적으로 연소시켜 수소를 얻는 방법이 부분 산화개질 방법이다. 필요로 하는 반응열을 얻기 위하여 연료가 부분적으로 연소되는데 연소시 사용되는 질소로 인하여 고순도 수소를 얻기가 쉽지 않으나 연료 내 오염물질에 의하여 영향을 받을 수 있는 개질기 촉매가 없다는 장점이 있다. PEMFC의 단점은 일산화탄소에 의해 스택의 성능이 저하되기 때문에 필요량 이하(10ppm)로 이를 저감시켜야 한다는 점이다. 이를 위해 일산화탄소는 1-2차 변환(Shift)과정을 거친 후 최종적으로 선택적 산화 혹은 투과막을 거쳐 제거한다.

연료전지에서 나오는 전기는 직류 전기이기 때문에 가정에서 사용하기 위하여 전력 변환장치를 통하여 교류로 변환시키는 인버터(Inverter) 장치가 필요하다. 보통 연료전지 전지전압이 30~70V 정도로 이를 Inverter 작동 전압인 380V 정도로 승압하기 위하여 Converter를 사용한다. Converter 주회로 스위칭 소자로 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 사용하여 변환 손실을 줄이고, 승압방식은 회로구성이 단순한 Chopper 방식을 사용한다. 계통에 연계되는 경우 인버터 내에 계통연계 보호 기능을 내장하고 있는데 1~3kW 정도 소용량 Inverter도 보통 87% 이상의 효율을 갖도록 제작되고 있다. 가정용 연료전지용 인버터는 전력을 사용하기 바로 전에 배치되

기 때문에 효율 향상이 아주 중요하다.

### 나. 가정용 연료전지 실용화 과제

가정에서 사용하는 에너지는 그림에서 보는 바와 같이 조명, 냉방기, 가전기기 등과 같은 전기에너지와 목욕 및 난방 등과 같은 열에너지가 주로 사용된다. 가정용 연료전지는 이와 같이 전기에너지와 열에너지를 연료전지로부터 얻을 수 있는 열병합발전 설비이다.

가정에서 가구 인원 및 구성, 주택 규모 그리고 생활양식에 따라 에너지의 사용량이 다양하게 변하기 때문에 연료전지 형태에 따라 적정한 용량 및 운전방식의 검토가 필요하다. 앞으로 이와 같은 면에서 용량 검토가 필요하며, 일본의 대기업에서는 보통 1kW 전·후의 용량을 고려하여 개발을 진행하고 있다. 열병합 형태로 사용하는 면에서 또 다른 고려는 열 및 전기의 생산과 소비가 일치하지 않는 점에서 최적 운전방식을 고려하여야 한다는 점이다. 예를 들면, 전기 이용시 발생하는 열은 일단 온수로 저장조에 저장한 후 사용하는 방법 등이 고려되고 있다. 실제 적용시에는 다양한 형태의 운전 방법을 고려하여 경제성, 환경성, 그리고 에너지절약 효과가 우월한 운전형태를 개발할 필요성이 있다.

가정용 연료전지로서 가장 가능성이 높은 PEMFC의 경우 현재 자동차용으로 개발이 많이 진행되고 있다. 자동차용인 경우 기동정지가 빈번하고, 부분부하에서 사용빈도가 높은 반면 5000시간 정도의 내구성을 요구하고 있다. 그러나 가정용 연료전지의 경우에는 연속 운전 및 높은 발전효율 및 장기 내구성이 실용화에 있어서 아주 중요한 요소가 된다. 가정용 연료전지는 현재 시작품이 개발되어 그 운용 시험에 들어가 있는 단계로서 실용화를 위한 기술적 과제를 살펴보면 다음과 같다.

연료전지 본체에 있어서는 장기간의 신뢰성 및 내구성

을 확보하기 위한 노력이 필요하다. 이를 위하여 전류밀도의 향상을 통한 Compact화, 방열손실 저감 등에 대한 노력 및 구성요소인 전극 총매층의 수명 향상 등이 필요하다. 연료 개질장치의 경우 역시 신뢰성 및 내구성을 갖는 개질기 개발이 필요하며, 특히 개질기 열효율 향상 및 콤팩트화 그리고 반응기의 기동시간 단축 등이 과제가 된다. 인버터의 경우에도 보조기기들의 동력저감을 통한 인버터효율 향상이 필요하고 배열회수장치에 있어서도 배열회수의 안정적 확보 방안 및 고온도화가 필요하다. 전체적으로 본다면, 설비의 내구성 및 신뢰성 확보와 코스트 저감을 위한 기술개발 및 소형화가 가정용 실용화를 위한 기술적 개발과제라고 할 수 있다.

## 4. 가정용 연료전지 개발현황

미국의 경우 가정용 연료전지를 2003년부터 양산하여 보급하는 계획으로 많은 회사들이 개발에 참여하고 있는데 용량이 3에서 7kW 정도로 비교적 큰 규모의 연료전지를 개발하고 있다. 고체 분자형 연료전지의 경우 Analytic Power는 천연가스를 이용한 3에서 7kW 규모의 가정용 연료전지를 개발하고 보급 중에 있으며, Plug Power는 GE와 공동으로 7kW Unit(HomeGen 700)을 개발하여 140여대를 보급 실증시험을 진행하고 있다. 이 시스템은 LPG 가스를 연료로 하며, 계통선과 연계되어 운전되고 있다.

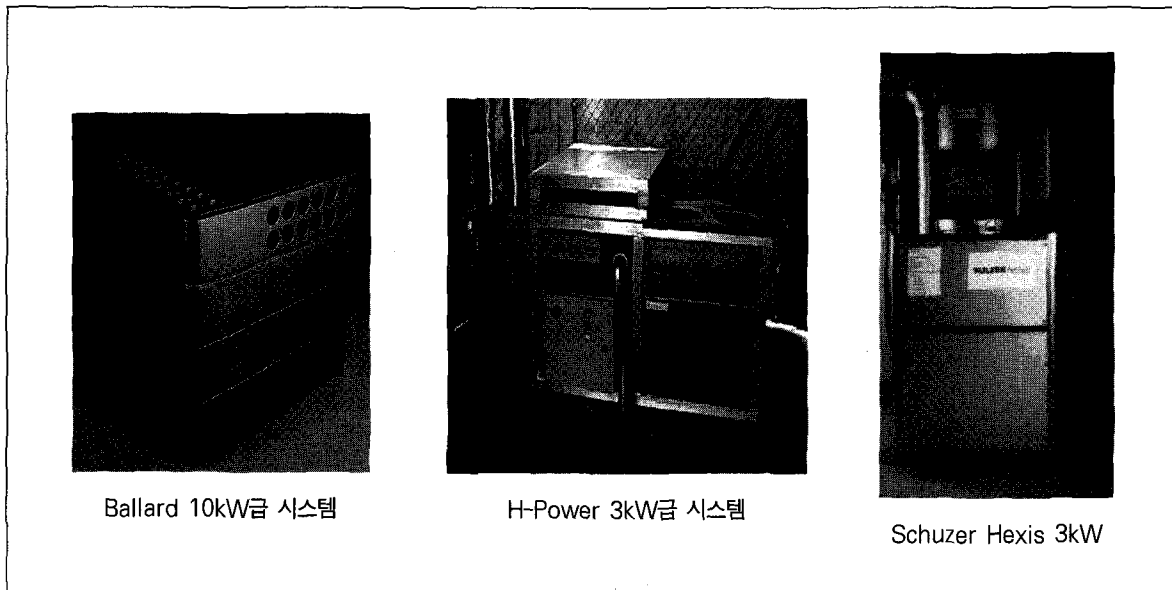
이 외에도 H Power사는 정격 4.5kW에서 3에서 10kW 까지 운전할 수 있는 가정용 연료전지를 출시할 예정이다. 미국 에너지성에서는 가정용 연료전지 개발을 지원하고 있는데 EPRI에서는 2001년부터 총 16대의 가정용 연료전지 Field Test를 시행하고 있다. 이와 함께 독일 열기기 메이커인 Valliant에서 미국 GE사의 4.5kW 가정용 연료전지 설비를 도입 보급할 예정으로, 독일의 경우에는

북 유럽에 위치하여 비교적 열 수요가 많고, 가정에서의 에너지 소비가 상대적으로 크기 때문에 연료전지의 이용 효과가 클 것으로 예상하고 있다.

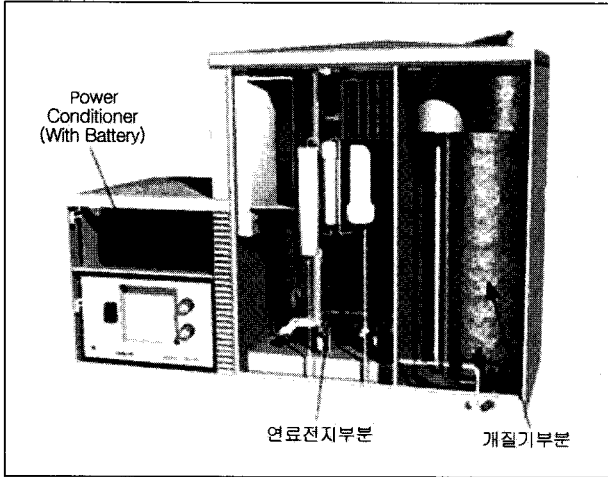
일본은 NEDO(신에너지 산업기술 종합 개발기구)가 1992년 PEMFC 기술 개발을 추진한 이래 Toshiba, Mitsubishi, Sanyo 등에서 수 kW에서 30kW 유닛 개발을 꾀하고 있으며, 2000년도부터 시작된 “연료전지 보급 기반 정비사업” 및 “고효율 연료전지 시스템 실용화 기술개발사업” 등에서 가정용 연료전지 보급을 위한 보급 기준 및 표준화 작업 및 실용화 기술개발을 진행하고 있다. 일본에서의 가정용 연료전지는 전력망과의 안정적 연계 및 온수 이용 등을 고려하여 0.5에서 1.5kW 규모로 미국보다는 적은 규모의 설비 개발을 진행하고 있다. Sanyo에서는 1.5kW 설비를 판매단계에 있고, Matsushida에서는 250W에서 실증시험을 진행하였고, 이를 1kW까지 확대하고 있다. 이외 일본 도시가스업체인 오사카가

스, 도쿄가스 등 가스업체가 중심이 되어 1~3kW급 규모의 시스템 개발을 진행하고 있다. 이는 가정용 연료전지의 열병합 효과가 크고 가스사업 영역을 넓힐 수 있다고 판단한 때문인데 일본가스협회는 3대의 1kW급 설비를 실제 시운전을 통하여 2002년부터 본격적인 도입을 꾀하고 있다.

유럽은 독일 Siemens, 이태리 Nuvera 등에서 3~5kW 규모의 시스템을 개발 중에 있다. 이외에도 고체 전해질 연료전지의 경우 스위스 Sulzer Hexis사에서 가정용 3kW 시스템을 개발 90여기를 북유럽에서 시험운전을 준비 중에 있다. EU의 가정용 연료전지 보급 프로그램에서는 2001년부터 50여대의 가정용 연료전지를 도입하여 Field Test를 실시할 예정이다. 한편 PEMFC에서 가장 앞선 기술을 가지고 있는 캐나다 Ballard사는 250kW급 정치형 고분자 전해질 연료전지 시스템을 개발 시험운전에 성공하고 보급을 준비 중이며 가정용 연료전지로는 10kW



〈그림 3〉 미국 및 유럽의 가정용 연료전지 형태

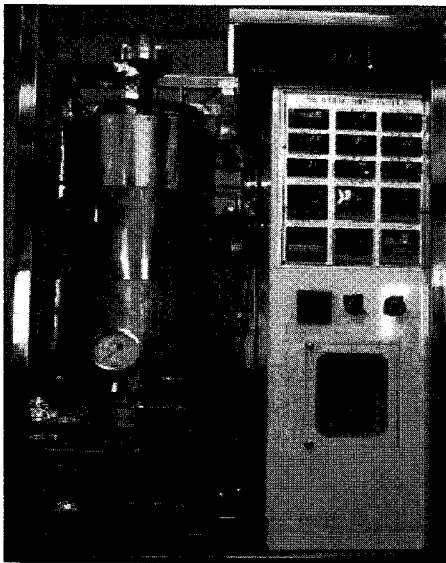


〈그림 4〉 GE HomeGen 7000 연료전지 시스템

시스템을 개발 2001년 운전시험을 완료하였고, 국내 연료 전지 벤처 기업인 CETI가 미국 Dias 손잡고 2kW급 규모와 3kW급 시스템 개발을 통하여 보급을 준비 중이다. 한편 국책 사업으로 정부에서는 연료전지의 보급을 위하여 3kW급 시스템 국산화를 추진하고 있으며, 현재 CETI가 주관기관으로 그리고 국책 연구기관인 에너지연구원, 가스공사, 극동가스 및 LG Caltex 및 대학 등에서 참여하고 있으며 전력연구원에서는 차후 이러한 분산 시스템의 활용가능성에 따라 시스템 보급시 실증시험에 참여할 예정이다.

## 5. 맺음 말

가정용 연료전지기술은 화석연료 사용에 따른 공해요인의 제거 및 전력산업 구조 조정에 따른 분산형전원으로 서 그 개발 및 보급 가능성이 아주 큰 새로운 형태의 발전 방식이다. 그러나 보급 실용화를 위하여 실효율 향상, 구성요소의 가격저감 및 신뢰성 향상 등 많은 문제점을 가지고 있어 아직은 연구 개발에 많은 노력이 필요한 새로운 기술이다. 그러나 이미 외국에서는 고체고분자 연료 전지 및 고체 전해질 연료전지 등 가정용 연료전지 실용화 규모 시스템들이 이미 보급되어 실증시험 및 표준화 사업에 박차를 가하고 있다. 국내에서도 이에 대한 국산화 보급계획이 추진되고 있어 조만간 실규모 실증 시험이 이루어질 전망이다. 전력분야 연료전지 발전은 분산 전원 발전시스템의 우선 개발 보급이 가장 유력한 분야 이고 그 중 가장 먼저 실용화에 근접할 수 있는 분야가 가정용 연료전지 및 열병합 자가발전 설비라는 점에서 업계 및 정부의 과감한 투자 및 연구개발 노력이 필요하 다고 생각된다. ■



〈그림 5〉 국내 에너지연구원 개발 5kW PEMFC 가정용 연료전지

급 시스템을 개발 보급 준비 중에 있다.

국내의 경우에도 에너지연구원 등에서 가정용 5kW급