

# 실용화 단계로 들어선 연료전지

玄 源 福

〈과학저널리스트〉



미래형 발전시스템으로 관심을 모으고 있는 연료전지연구가 최근 국내에서도 활발히 진행되고 있다. 과학기술처가 국책연구과제로 밀고 있는 신에너지 기술개발분야중의 하나인 연료전지기술 개발에는 에너지연구소, 한국과학기술 연구원, 서울대를 포함한 대학과 연구 기관 그리고 한국전력, 한국가스공사, 호남정유, 삼성전자를 포함한 산업계가 참여하고 있다.

다른 발전시설에 비해 환경문제에 대한 걱정을 놓아도 되기 때문에 주거지역내에도 수요에 따라 여러 가지 규모로 설치할 수 있을 뿐 아니라 탁월한 발전효율을 가진 연료전지의 세계적인 개발현황을 알아본다.

## 전기와 음료수도 생산

로스앤젤레스의 한 사무실주차장에는 베이지색의 버스크기를 가진 금속제 컨테이너가 한개 놓여 있다. 이 상자속에는 움직이는 부품이 하나도 없는 발전기가 자리하고 있다. 이 발전기는 화석 연료를 전혀 태우지 않는다. 이것은 소음도 내지 않는다. 전기를 생산할 때는 마실 수 있는 순수한 물도 생산한다.

연료전지로 불리는 이 장치는 원리상으로는 수소와 산소를 공급하며 전기를 공급하는 배터리를 닮았다. 미국전력연구소(EPRI)의 연료전지사업 담당자인 에드워드 길리스의 말을 빌면 『연료전지는 기본적으로 블랙박스다. 한쪽 끝으로 연료를 투입하면 다른 쪽에서는 전기를 얻을 수 있는데 그 연료효율이 매우 높고 배출물은 매우 적다』

조용하고 융통성이 많으며 깨끗한 이 기술은 종래 비교적 그늘에 가려 알려지지 않았으나 이제 전력시장의 주류로 진출하기 시작했다. 연료전지는 사용목적에 따라 크기도 가지각색이다. 그중에서 비디오 카메라와 랩톱 컴퓨터용의 전력을 공급하는 휴대용 배터리카기의 연료전지가 현재 시장에서 막 선을 보이기 시작했다.

또 미국 사던 캘리포니아 가스회사는 10기의 2백kw 연료전지발전소를 이미 건설하여 하이아트호텔, 3개의 병원, 1개의 교도소 그리고 로스앤젤레스 시내의 여러 곳에 전기를 공급하고 있다. 이 회사는 1994년 시범용으로 야심적인 2MW급의 연료전지발전소를 가동하여 1995년부터 이웃가정에 난방과 온수를 공급할 계획이다.

## 앞서가는 기술

오늘날의 연료전지의 뿌리는 1839년 최초의 연료전지를 제작한 영국의 판사이며 과학자인 윌리엄 그로브경의 업적에 두고 있다. 그러나 그동안 연료전지는 화학자, 전기공학자 그리고 엔지니어들의 한낱 호기심의 대상을 벗어날 수 없었다. 1960년대로 접어들면서 미국 항공우주국(NASA)은 아폴로, 제미니, 스카이랩 그리고 오늘날의 우주연락선의 우주비행사들에게 전기와 식수를 제공하는데 이상적인 해결책을 제공하는 기술로서 연료전지의 가치를 재확인하게 되었다. 그러나 불행히도 1960년대와 70년대의 연료전지의 값은 kw당 10만달러에 이르러 용도에 제한을 받을 수 밖

에 없었다.

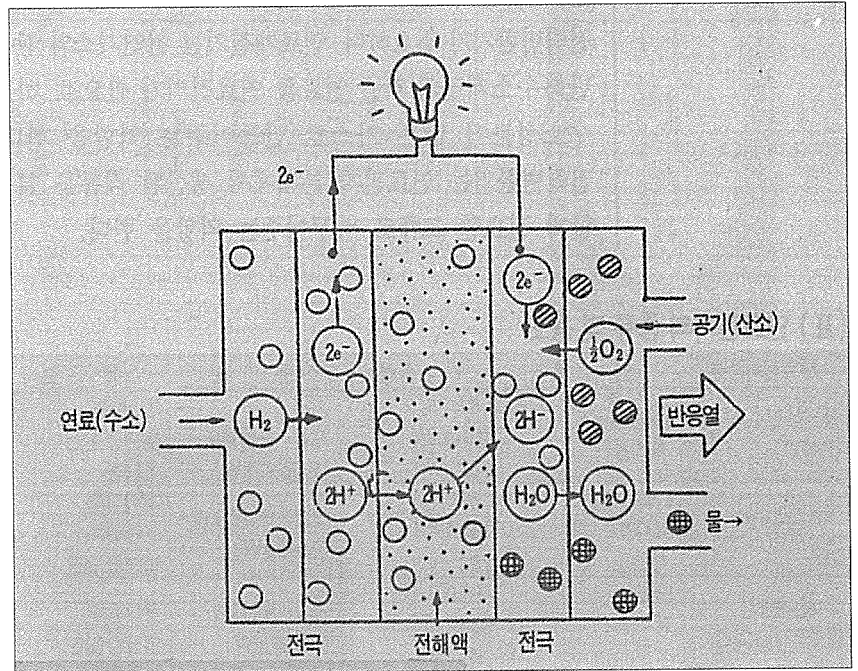
그런데 최근에 와서 연료전지에 대한 관심이 새로 일기 시작한 원인은 무엇일까? 메이커들은 연료전지를 더 빨리 그리고 싸게 만들 수 있는 방법을 배우게 되면서 재래식 발전방법과의 경제적인 갭을 매우기 시작했다. 더욱이 환경 문제에 대한 관심이 날로 커지면서 연료전지를 전력이용의 주류로 밀어 넣으려는 추세가 강력하게 대두하게 되었다. 연료전지는 스모그나 산성비의 주요원인이 되는 산화질소나 산화황을 발생하지 않는다. 또 연료전지는 내연엔진보다 효율이 훨씬 뛰어나기 때문에 「온실효과」의 주원인인 이산화탄소의 발생량도 훨씬 적다.

미국 매서추세츠주 케임브리지시의 저명한 자문회사인 아더 리틀사에 따르면 10년전만해도 비용이 너무 많이 들기 때문에 연료전지는 무시되었으나 연료전지의 뛰어난 환경의 장점이 인식되면서 이런 상황은 빠른 속도로 바뀌고 있다고 말하고 있다. 아더 리틀사는 만약에 연료전지를 재래식의 발전방법과 대치한다면 이산화탄소의 배출량은 40~60%가 줄어들고 산화질소배출량은 50~90%까지 떨어질 것으로 추정하고 있다.

## 다양한 연료전지

그런데 연료전지는 보통 배터리와 많이 닮았다. 배터리처럼 연료전지는 전기가 통하는 전해질(電解質)을 둘러싸고 샌드위치가 된 2개의 전극으로 되어 있다. 양극에서는 백금과 같은 희귀한 금속촉매가 수소가스에서 나오는 전자를 낚아챈다. 이 전자는 직류회로로 흘러들어간 뒤 외부부하로 가는 한편 전자가 없는 수소이온은 전해질속에 녹는다. 양극에서는 중성의 산소분자가 전자를 낚아채고 마이너스(-)하전의 산소이온

◇연료전지 발전의 원리



을 형성한다. 이것은 용해된 플러스(+) 하전의 수소와 반응하여 물을 만든다.

그래서 연료와 산소의 흐름이 꾸준히 연료전지속으로 흘러 들어오면 쉴 새 없이 전류, 열물 그리고 어떤 경우에는 이산화탄소를 생산하게 된다. 그런데 생산되는 전류의 양은 셀의 표면적에 따라 결정된다. 단일의 작은 전지라면 1볼트 또는 그 이하를 생산한다. 그러나 연료전지를 팬케이크처럼 쌓되 전기는 통할 수 있으나 불투과성인 격리판으로 분리되었을 때는 발전량은 올라간다. 그래서 불과 2~3개의 셀을 쌓아올린 연료전지는 6~7와트의 전기를 생산하는 반면 수십개의 1m사방넓이의 셀은 수백kw의 전력을 생산하게 된다.

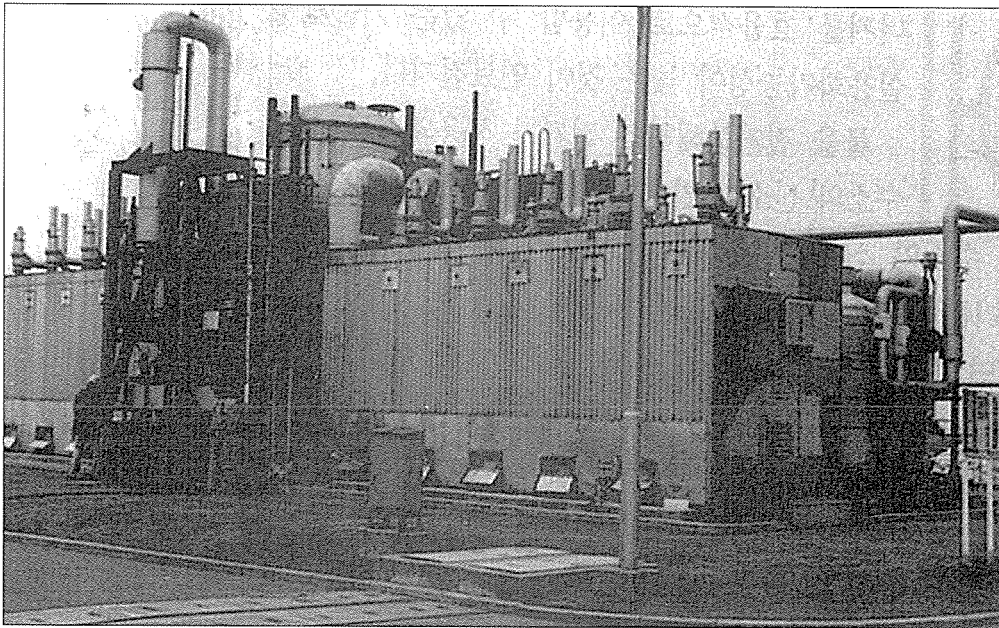
그러나 연료전지는 모두 동일하게 만드는 것은 아니다. 이런 변화는 전해질로 사용되는 물질로 좌우된다. 예컨대 NASA는 우주연락선용의 전기와 물을 생산하기 위해 알칼리 수산화칼륨형을

사용하고 있다. 그러나 오랜 연구개발 기록을 간직하면서 가장 다양하고 신뢰성이 있는 것은 인산 및 고체폴리머형 연료전지다.

인산모델은 현재 미국 캘리포니아주 일대에서 이용되고 있다. 미국 코네티컷주에 인터내셔널 푸엘 셀사가 제작한 버스크기의 연료발전소는 한기가 57만5천달러에 연료대 전력생산율 40%로 2백kw의 전력을 생산한다. 만약에 시간당 동시에 발생되는 75만 Btu의 열을 방이나 또는 물을 데우는 데 사용한다면 전체의 효율은 80%까지 올라간다. 가장 뛰어난 화석연료발전기도 35%의 효율에 이르면 매우 다양한 일로 생각하고 있다.

## 서로 다른 기술

인산모델(PAFC)은 결국 다양한 크기의 연료전지를 제공하게 될 것이다. 예컨대 그 응용범위의 한쪽 끝에서는 일



◇일본 도쿄전력의 연료전지 발전소의 전경.

본의 양요사가 해변에서 사용할 텔레비전이나 여름철 저녁의 잔디파티용의 외등으로 사용할 휴대용 24볼트, 2백50와트 용량의 인산연료전지를 만들고 있다.

27kg무게의 이 시스템은 연료로서 순수한 수소를 사용하고 가스 한강통으로 1백분 가동할 수 있다. 이보다 더 큰 규모로서 일본 도쿄의 한 발전소는 18개의 거대한 PAFC모듈을 사용하여 11MW의 전기를 생산하고 있다. 인산시스템은 앞으로 10년간은 이보다 더 크게 성장하지 않을 것이라고 전문가들은 내다보고 있다. 그런데 수천 메가와트 수준에서 연료전지는 매우 효율이 좋고 깨끗하게 타며 비용과 효과가 뛰어난 가스터빈과도 경쟁할 수 있다.

한편 양자교환막(PEM)이라고도 알려진 고체폴리머 연료전지도 차츰차츰 전력의 주류로 들어서고 있다. 가동온도가 낮고 변동하는 전력수요에 신속하게 적응할 수 있다는 장점을 가진 PEM 연료전지는 우선 휴대용의 배터리대용품, 가정용 병합발전시스템 그리고 승용차에서 상업적인 용도를 찾게 될 것이다. 혁

신적인 제작기술덕분에 고체폴리머 연료전지의 비용은 평방피트당 1천달러에서 단돈 5달러로 떨어졌다.

현재 미국 뉴저지의 H-전력회사는 소규모의 PEM 전지에 대해 큰 희망을 걸고 있다. 이 기업의 25와트 출력의 노캐드 비디파크는 비디오 카메라에 사용되는 니켈-카드뮴 배터리와 대치하게 설계되어 있다. 이 팩은 카메라의 배터리칸에 끼게 되어 있다. 소형 산소통이 팩속으로 들어가서 필요한 연료를 제공한다. 레코드단추를 누르면 이 팩은 2시간동안 카메라에 조용히 전력을 공급한다. 이 기업은 또 재래식의 배터리보다 크지 않은 랩톱 컴퓨터용의 16시간 수명의 PEM전력팩을 개발하고 있다.

### 물보다 증기생산

이보다 용량이 큰 전기를 생산하기 위해 과학자들은 용융 탄산염과 고체산화물이라는 2가지의 아직도 개발도상형 연료전지에 눈을 돌리고 있다. 이 두가지형의 연료전지는 연료대 전기효율이 50~60%에 이를 것으로 전망되고 있다.

용융탄산염의 경우는 섭씨 6백50도 그리고 고체산화물의 경우는 섭씨 1천도나 되는 높은 열에서 가동하게 되므로 부산물로서는 물보다 수증기를 생산한다. 그런데 이 증기는 추가로 재래식 전기터빈을 돌릴 수 있을 정도로 물을 데우는 데 사용할 수 있다. 더욱이 높은 가동온도 때문에 이 시스템은 정제된 수소보다 일반 천연가스로 직접 가동할 수 있다.

미국 코네티컷 주 덴버리의 용융탄산염개발회사인 에너지 리서치사는 이미 2백34개 셀의 70kw짜리 모듈을 퍼시픽 가스/일렉트릭사 연구실에서 시험가동을 했다.

이 기업은 1994년말경에는 캘리포니아주 산타클라라시 용으로 2MW급 연료전지발전소를 가동할 계획이다. 테니스코트 크기의 이 시스템 가동이 성공하면 50기의 같은 모델의 주문이 자동적으로 쏟아져 들어오게 되어 있다.

### 연료전지의 「神童」

고체산화물 연료전지는 다듬기는 어려우나 가장 장래가 촉망되는 연료전지

계의 진짜 「신동(神童)」이다. 항상 대용량의 전기를 요구하는 산업계와 대규모의 중앙발전이 후보로 오른다. 고체산화물 연료전지는 대양을 향해하는 선박용 발전소로 제안 받고 있다. 1950년대에 처음으로 고체산화물 개념을 확립한 웨스팅하우스사가 추구하고 있는 한 설계는 1m 길이의 튜브 배열로 되어 있다. 원통형의 각 셀은 튜브내부에 음극을 그리고 튜브밖에 연료전극을 갖고 있는데 그 사이에 샌드위치가 된 얇은 층의 고체산화물 전해물질이 있다. 연구실에서는 하나 하나의 튜브는 1만5천시간까지 지탱할 정도로 잘 가동한다. 웨스팅하우스사는 또 일본에서 전기를 생산하는 25kw의 고체산화물연료전지모형을 갖고 있다.

그러나 매서추세츠주의 중소신참기업인 스테크사는 고체산화물연료전지에 대해 종전과는 다른 아이디어를 갖고 있다. 이 기업은 웨스팅하우스사가 사용하는 것보다 훨씬 간편하다. 스테크사는 튜브대신 수프깡통 꼭대기와 닮은 디스크속에 전극과 전해물질을 집어넣는다. 이 전지는 너무나 작고 얇기 때문에 16개를 쌓아도 1인치(2.54cm)높이 밖에 안된다. 그래서 수백개를 함께 다져서 U-자모양을 한 용기에 넣어야 25kw 전지를 만들 수 있다.

스테크사는 2대의 18개의 바퀴를 가진 트랙터 트레일러 뒤에 신기에 알맞는 2.5MW 용량의 휴대용 연료전지를 구상하고 있다. 이 기업은 1998년경에는 이 시스템을 가동할 계획이다.

### 간편한 시스템

연료전지는 이렇게 밝은 미래를 갖고 있으나 지난 날에도 여러 번 금방 실현될 것이라는 희망을 안겨준 일이 있었다. 미국 텍사스 A&M대학 전기화학시스템 및 수소연구센터 소장 존 애플바

이는 연료전지가 시장에서 성공을 거두기 위해서는 장치가 덜 복잡하고 매 입방피트당 생산되는 전기의 양을 크게 끌어올려야 한다고 말하고 있다.

질의 저하도 주요한 문제다. 연료흐름의 불순물이 전해질층의 작은 구멍을 차츰차츰 막아버려 수소와 산소이온의 흐름을 지체시킨다. 이것은 완만하게 전기의 출력을 줄여버린다. 메이커들은 연료전지의 퇴(堆)의 수명을 4만시간으로 목표로 하고 있는데 이렇게 해서 전체 퇴를 매 5~7년마다 대체시킬 계획이다.

이런 기술을 완성하는 일은 연료전지의 상업화의 길을 가로막는 경제 및 사업적인 걸림돌을 제거하는 일보다는 쉬운 일이다. 연료전지에서는 코스트가 핵심요소가 된다. 현재 캘리포니아주에서 가동중인 시스템은 피크 kw당 2천9백달러로 운용되고 있다. 재래식의 발전비용은 피크 kw당 1천5백달러 안팎이다.

### 「닭과 달걀」

전문가들은 이런 상황을 「고전적인 닭과 달걀의 관계」로 비유하고 있다. 연료전지에 대한 주문이 없다면 메이커들은 생산을 자동화할 수 없는 것이기 때문에 수작업으로 생산해야 하고 따라서 값은 비싸지게 마련이다. 그러나 고객들은 값이 떨어지지만 기다리고 있는데 대량생산이 시작되기 전에는 값은 떨어질 수 없는 것이다.

지금까지 큰 기업중에서 인터내셔널 퓨엘 셀즈사, 에너지 리서치사 그리고 M-C파워사를 포함한 3개사가 연간 약 12MW 상당의 연료전지를 생산할 수 있는 반자동공장을 세웠다. 그런데 아더 D. 리틀사는 연료전지의 소매값을 반으로 줄이자면 한 회사가 2백MW상당의 되는 생산할 필요가 있다고 추정하고 있다.

그러나 아직도 연료전지를 가까운 장

래에 상업화시킬 수 있는 유리한 요인들이 많다고 메이커와 고객 그리고 전문가들은 말하고 있다. 그 이유는 연료전지가 전기생산과 함께 산화질소나 산화황을 발생하지 않기 때문에 화석연료를 사용하는 발전기처럼 비싼 오염제거장비의 비용은 절약할 수 있기 때문이다. 일부도시에서는 연료전지운영회사들이 미연방정부의 지침에 따라 방출할 수 있는 오염물에 대한 「권리」를 오염물방출표준을 지킬 수 없는 기업들에게 팔 수도 있다. 또 연료전지에서 배출되는 일산화탄소와 이산화황의 수준은 실제로 공기가 수용할 수 있는 수준보다 훨씬 낮다.

### 송전선도 필요없고

연료전지는 또 수요에 따라 알맞게 조립식방법으로 전력을 제공할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

그래서 미국의 경우 2000년경에 필요한 8만9천MW의 새로운 발전용량중 일부를 연료전지에 의존하게 된다. 연료전지는 예컨대 새로운 쇼펍센터에서 전력이 필요하다면 사람의 눈에 띄지 않게 전기를 생산할 수 있다. 그래서 마일당 5만달러나 먹히는 새로운 배선이나 또는 마일당 1천만달러나 비용이 드는 고압선 등은 필요없다. 뿐만 아니라 전기를 장거리로 송전할 때 어쩔 수 없이 발생하는 전력의 손실은 걱정하지 않아도 된다. 이런저런 사정으로 볼 때 전기가 필요한 현장에서 kw당 2천달러로 전기를 생산하는 것이나 거대한 중앙발전소에서 kw당 1천달러로 발전하는 것이나 비용면에서 맞먹는다고 퍼시픽 가스 일렉트릭사는 추정하고 있다. 더욱이 공중의 송전선이 줄어들기 때문에 사람들은 전자파피해에 대한 걱정을 덜어도 된다. 한편 트럭의 트레일러에 연료전지를 싣고다니면 어디나 필요한 곳에 신속하게 전력을 공

급할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

현재 미국 캘리포니아주 오클랜드소재 미국 최대의 보건기관의 하나인 카이저퍼마넨트는 연료전지를 이용하여 가장 적은 비용으로 가장 높은 신뢰성

그리고 가장 오염이 적은 환경에서 사무실, 클리닉 그리고 병원에 전기를 공급하고 있다. 카이저의료재단은 또 캘리포니아주 아나하임과 리버데일에 있는 메디칼센터에도 2백kw의 인산시스템 연

료전지를 현재 시험중인데 1994년에는 고체산화물연료전지를 설치할 계획이다. 이밖에도 1996년에 완공예정인 새로운 카이저 메디칼센터에도 2MW급 용융탄산염 연료전지를 설치할 계획이다.

## 다섯가지 연료전지기술

### ■ 각 연료전지의 장단점

연료전지는 모두 같은 원리로 작동 하지만 용해질로 사용하는 물질에 따라 서로 다르다. 또 어떤 타입의 연료전지는 응용범위가 매우 넓다. 예컨대 인산연료전지는 소형 배터리에서 11kw 발전소에 이르기까지 여러 가지 용도에 쓰인다. 그러나 용융탄산염과 고체산화물용해질은 높은 가동온도가 요구되기 때문에 대용량의 발전에 이용된다.

#### ① 알칼리성 수산화칼륨

- 장 점 : 70%연료-전기화 효율
- 단 점 : 값이 비쌈
- 응 용 : 스페이스셔틀에 전기와 물을 공급. 일부 군사용으로 쓰임.

#### ② 인 산

- 장 점 : 가장 많이 개발되고 시험된 기술이며 쉽게 출력을 증가할 수 있음.
- 단 점 : 40%의 연료-전기화 효율로서 11kw이상급에서는 재래식 시스템과 경쟁할 수 없음.
- 응 용 : 소규모 배터리에서 대형 시스템에 이르기까지 다양함.

#### ③ 용융탄산염

- 장 점 : 50~60%의 연료-전기화효율을 가져 현존시스템과 공동발전하기에는 이상적임. 연료로서는 천연가스를 사용함.
- 단 점 : 가동온도는 섭씨 5백50도가 요구됨.
- 응 용 : 승용차, 버스, 산업용.

#### ④ 고체산화물

- 장 점 : 개량이 필요없고 천연가스를 사용함.
- 단 점 : 섭씨 1천도에서 가동함. 운용온도에 도달하자면 2일간이 필요함.
- 응 용 : 높은 출력의 산업용.

#### ⑤ 고체폴리머

- 장 점 : 낮은 온도에서 가동하고 변화하는 전력수요를 쉽게 다룰 수 있고 시동이 빠름.
- 단 점 : 비싸며 문제점을 해소하기 위해서는 보다 현실적인 시험이 필요함.
- 응 용 : 승용차, 버스 그리고 대용량의 배터리대용품.