

# 연료전지 대중화시대가 달려오고 있다

환경의 세기를 코 앞에 두고 세계는 깨끗한 에너지원 개발에 열을 올리고 있다. 그중에서도 가장 촉망을 받고 있는 연료전지는 온갖 장애를 극복하면서 이제 실용화 단계로 들어섰다.

1999년 3월 17일에는 다임러-크라이슬러사의 슈르겐 슈렘프회장이 기자들에게 “연료전지자동차 개발경쟁은 끝났다.

이제 우리는 그 비용을 오늘날의 내연엔진수준으로

끌어 내리는 경쟁을 개시했으며 2004년까지

목표를 달성할 것” 이라고 말했다. 깨끗하고 조용하며

효과적인 연료전지는 그 응용분야가 자동차만 아니라

셀전화(이동전화)에서 랩탑컴퓨터와 가정용전력공급에 이르기까지

다양하고 폭넓은 범위로 번져 나가 21세기의 우리 생활양식에도

큰 변화를 가져 올 것으로 보인다.

연료전지개발의 현장을 찾는다.

玄 源 福 <과학저널리스트/본지 편집위원>

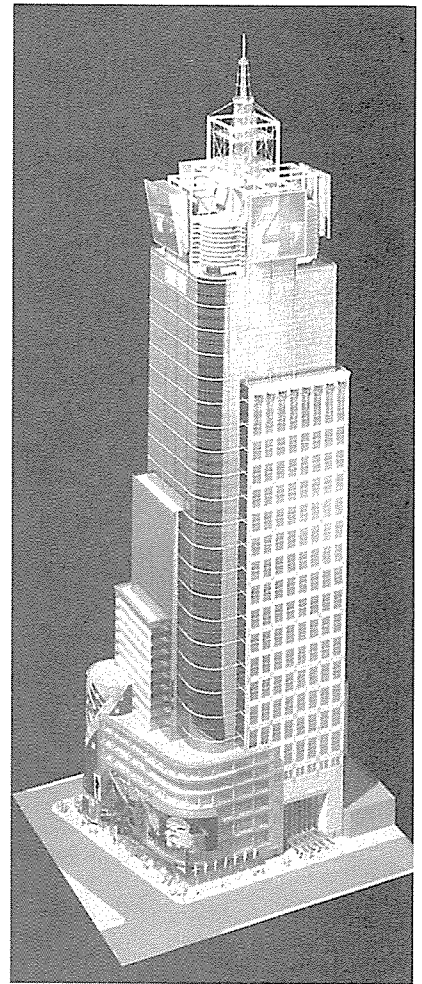
## 열쇠진 백금

오늘날 세계를 통틀어 약 6억4천만대의 자동차들이 굴러 다니면서 연간 약 37억톤의 이산화탄소를 마구 내뿜고 있다. 배기가스에 대한 규제는 나라와 지방정부에 따라 다르지만 더욱 엄격해지는 추세다.

예컨대 미국에서 대표적으로 자동차가 많은 캘리포니아주에서는 2003년 이후에는 어떤 승용차메이커든지 판매량의 10%가 ZEV(무공해차량)

가 아닌 경우에는 그 메이커제 휘발유차는 전혀 팔 수 없다는 규정을 통과시켰다. 그래서 다임러-크라이슬러, 포드, 제네럴 모터즈 그리고 도요타를 포함하여 세계의 우수한 자동차메이커들은 수년 전부터 배출물을 줄이는 여러가지 방법을 조사한 결과 연료전지(박스기사1 참조)가 가장 유망하다는데 의견을 같이 하고 있다.

연료전지는 여러가지 타입(박스기사2 참조)이 있으나 그중에서 가장 촉망을 받고 있는 양자교환막형



▲ 현재 뉴욕시 타임스퀘어에서 건설 중인 '그린 빌딩'. 건물 4층에 2기의 200kw 연료전지가 설치된다.

(PEM) 연료전지는 백금을 촉매로 사용하고 있다. 전형적으로 직경 약 10개의 원자크기인 이 금속의 입자는 미세한 탄소입자의 표면에 침전시킨다. 그러나 비싼 백금값은 언제나 연료전지의 상업적 개발의 걸림돌을 잡는 주요한 요인이 되었다.

예컨대 1986년에 매 kw의 전력(1kw는 약 1.3마력)을 생산하는데 필요한 백금은 약 16g이었다. 백금 16g의 값은 오늘의 시세로 1백80달러나 된다. 자동차 한대가 가속하는

데 50kw의 전력이 필요하다.

다행히 미국 로스알라모스 국립연구소와 텍사스A&M대학의 연구자들은 1980년대 말과 1990년대 초에 걸쳐 PEM 연료전지에 필요한 백금의 양을 줄이는데 큰 진전을 이룩했으며 최근에는 일부 민간기업들도 기술개발에 주요한 공헌을 했다. 현대식 연료전지에 사용되는 백금의 양은 1986년 이래 30배나 개선되어 kw당 6~8달러 정도가 되었다. 전극의 구조를 개선하고 백금의 사용방법을 더욱 개량하면 필요한 백금의 양을 다시 반으로 줄일 수 있을 것 같다.

연료전지를 실용적인 전력원으로 만들기 위해서는 일련의 조립부품과 판을 함께 볼트로 묶어 쌓게 된다. 1989년 밴쿠버 소재 벨러드 파워 시스템사는 수소가스와 압축공기로 5kw의 전력을 생산하는 부피 약 30리터에 무게 45kg를 가진 스택(더미)을 개발했다.

이것은 매우 인상적이기는 했지만 이 설계는 kw당 80달러나 되는 백금을 소요하는 비실용적인 것이었다. 1995년 벨러드사는 내연기관과 성능상 비교할 수 있는 훨씬 개량된 스택을 발표했다. 이 설계는 전과 같은 무게와 부피를 가졌으나 32.4kw의 전력을 생산하고 연비의 효율은 54%에 이르렀다.

벨러드사가 개발한 여러 세대의 연료전지는 현재 다임러-크라이슬러의

여러 실험차종은 물론 밴쿠버와 시카고 시내를 주행하는 버스의 추진력을 제공하고 있다.

그러나 세계의 백금 생산량은 한정되어 있고 연료전지 외의 여러 응용 분야에도 공급해야 한다. 만약에 해마다 세계 자동차 총생산고중 5%(2백만대)를 50kw의 연료전지차로 생산한다면 연료전지용 백금의 수요는 세계 백금생산고의 약 3분의 1인 50t에 이른다.

### 최고의 성능

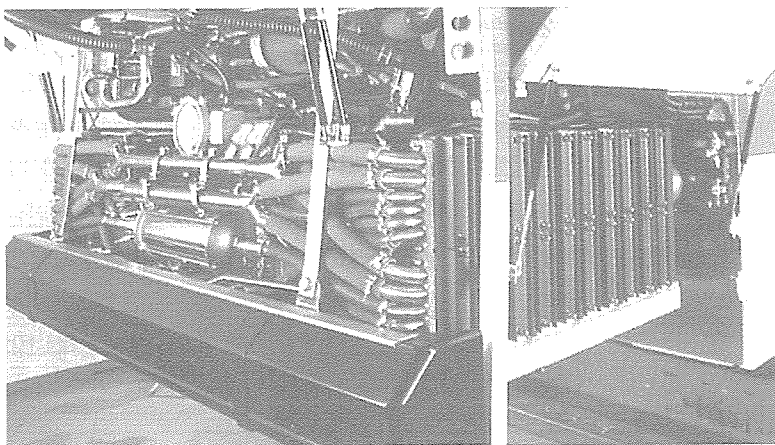
1998년 7월 캘리포니아 대기자원위원회가 접수한 보고에 따르면 승용차메이커들이 2000년 7월까지 PEM 연료전지를 개발하는데 10억~15억 달러를 사용할 것으로 추정하고 있다. 그런데 연료전지차가 널리 보급되기 위해서는 혼성형 내연엔진보다 경제적인 이점을 가져야 한다.

효율을 끌어 올려 경제성을 돕기 위해 연구자들은 연료전지를 2~3기압 가압함으로써 수소와 산소가 확산하고 반응하는 비율을 끌어 올리는 실험을 한 결과 소득은 크지 않았으

나 필요한 백금의 양을 줄일 수 있다는 것이 밝혀졌다.

한편 유나이티드 테크놀로지사와 도시바사의 벤처기업인 인터내셔널 퓨얼셀사는 압력을 주지 않아도 전지의 성능을 끌어 올리고 무게를 줄일 수 있는 방법을 개발했다. 그 방법은 미세한 구멍을 가진 투과성 흑연을 이용하여 물의 움직임을 제어하는 것이다. 메이커들은 생산비를 줄이기 위해 전극연결판에서 가벼운 흑연폴리머복합체와 부식방지 금속포말을 사용할 계획이다.

그런데 듀폰사는 만약에 연료전지차를 연간 25만대만 팔 수 있다면 생산가를 10분의 1로 줄일 수 있다고 추정하고 있다. 한편 연구자들은 연료전지가 널리 차량에 보급되기 위해서는 차에서 수소를 저장하거나 생산하는 시스템이 필요하다고 보고 있다. 그런데 수소가스를 원형 그대로 차에 공급하자면 종래의 주유소와는 별도의 새로운 수소공급소망을 설립해야 한다. 따라서 막대한 신규투자가 필요하게 되어 연료전지차 보급의 길을 막아 버린다.



▲ 캐나다의 벨러드 파워 시스템즈사가 제작한 버스는 양자교환막 연료전지로 추진되고 있다. 이 버스는 압축수소연료를 싣고 다니고 오염물질은 전혀 배출하지 않는다.

그래서 세계의 주요한 자동차메이커들은 외부에서 수소연료를 공급하는 승용차를 제작하는 대신 차내에서 스스로 메탄올이나 심지어 휘발유와 같은 연료로부터 수소를 생산하는 차를 설계하는 길을 선호하고 있다.

에컨대 다임러-크

라이슬러사와 쉘사는 이런 차라면 현재 미국에 있는 2천억달러 상당의 휘발유공급시스템을 그대로 사용할 수 있기 때문에 휘발유를 연료전지의 공급원료로 하는 방법을 모색하고 있다. 차에 탑재한 연료증기처리장치는 메탄올이나 휘발유로부터 수소를 만들 수 있다.

미국 아르곤국립연구소는 최근 78%의 효율로 휘발유를 수소로 전환할 수 있는 시스템을 개발했다. 그러나 휘발유 속에 있는 황은 PEM 전지의 촉매를 훼손시키기 때문에 그 해결방법을 모색하고 있다.

연구자들은 이런저런 도전을 극복하고 10년 내에는 보통휘발유에서 수소를 뽑아 내는 수소자동차모델이 등장하고 2020년경에 생산되는 새로운 차는 거의 모두가 수소에너지를 사용하는 혼성차가 되어 지구환경에 대한 부담을 크게 덜어 줄 수 있을 것으로 전망하고 있다.

### ‘수소경제’로 가는 길

10년이나 20년 뒤에는 가정마다 지하실이나 뒷마당에 설치한 냉장고 크기의 미니발전소에서 전기를 생산하여 가정용으로 사용하게 된다.

가정만 아니라 상점, 중소기업, 호텔, 아파트빌딩 그리고 공장에서도 5~500kw 용량의 연료전지로 생산된 전기를 자급자족한다. 벨기에, 캐나다, 덴마크, 독일, 이탈리아, 일본, 한국, 미국을 포함한 세계 여러 나라의 기업과 산업연구소에서는 적극적으로 연료전지 개발사업에 착수하여 그중에는 이미 연료전지를 판매하는 곳도 있다.

예컨대 미국 유나이티드 테크놀로

지사의 한 산하기업은 10여년간 2백 kw용량의 연료전지를 팔고 있다. 그동안 판매대수는 약 1백70기에 이르고 대부분은 산업시설에서 발열과 발전용으로 사용하거나 예비용으로 비치하고 있다. 이밖에도 폐수처리공장에서 연료전지의 수요는 날로 늘어나고 있고 환경적으로 민감한 기술과 설계를 과시하는 이른바 ‘그린(녹색)’ 시설에서도 사용하고 있다.

그러나 아직도 연료전지의 높은 비용 때문에 그 용도는 제한되고 있다. 연료전지가 생산하는 전기의 생산비용은 발전소가 일반적으로 사용하는 보통 가스연소터빈의 생산가인 kw당 5백~1천달러에 비해 3천~4천달러에 이른다. 다른 하나의 단점은 내구연한이 짧다는 것이다. 지금까지 10년 이상 가동된 상업용 연료전지는 없는데 비해 종래의 발전장비는 최소한 20년은 가동할 수 있다.

그런데 연료전지가 kw당 값이 1천 5백달러에 이르면 넓은 응용의 길이 열릴 것이라고 생각하는 전문가들이 많다. 이들은 재래식 발전소에서 나오는 온실가스가 환경에 미치는 해로운 영향을 걱정하는 소리가 차츰차츰 높아지는 반면 오염물질을 배출하지 않는 연료전지는 빠른 속도로 보급되면서 산업사회가 이른바 ‘수소경제’로 가는 길을 앞당겨 줄 것으로 기대하고 있다.

현재 개발중인 고정형 연료전지중에는 대형발전소 외에도 가정용의 소형전지가 있다. 40~50kw용량의 연료전지는 4~5개 침실을 가진 대형가옥이나 세탁소같은 소규모 상업시설이 필요로 하는 전기를 충분히 공급할 수 있다. 종래 연료전지라고 하

면 일반적으로 자동차용 연료전지보다 모두 크다고 생각하게 된 것은 지난 20년간 전력회사들이 대형 실험용 연료전지를 실험했기 때문이다. 그중에는 1982년에 콘솔리데이티드 에디슨사가 뉴욕시에 설치한 4.5mw 용량의 연료전지, 1984년에 도쿄전력회사가 운용한 4.5mw 연료전지, 1991년에서 1997년까지 도쿄전력이 운영한 11mw용량의 연료전지 그리고 1995년 미국 퍼시픽가스전기사가 산타클라라에서 시험한 2mw용량의 연료전지가 있었다.

미국의 실험은 예컨대 산타클라라의 연료전지처럼 설계용량보다 반밖에 생산하지 못하는 등 여러가지 문제가 제기되었으나 일본의 경우는 11mw용량의 연료전지가 2만3천시간을 가동하는 등 훨씬 좋은 성과를 거두었다.

### 새로운 패러다임

이런 어려움 때문에 고정형 연료전지는 분산형으로 개발방향을 전환하고 있다. 50kw 이하의 소규모 연료전지는 개인주택에 전기를 공급하고 수백kw용량의 대형시스템은 상업용 건물이나 기업에 전력을 공급할 수 있다.

업계는 주택과 중소기업용 소형연료전지의 매출고가 2030년경에는 연간 5백억달러에 이를 것으로 추정하고 있다. 아직도 연료전지로부터 전력을 공급받는 단일가정은 없으나 미국의 플러그파워사, 아비스타레브사, 노스웨스트 파워시스템사 등 3개사는 전사용 주택에 전기를 공급할 연료전지를 보유하고 있다.

산업 또는 상업용으로 사용할 대형



▲ 뉴욕주 래덤 소재의 이 주택은 차고근처에 설치된 냉장고 크기의 연료전지(윗그림에서 오른쪽, 왼쪽그림)로부터 전기를 얻는다.



연료전지시스템도 가동하고 있다. 그 중에서 한 기업은 2~3년 내에 고정용으로 5백kw용량의 연료전지를 도입할 계획이며 다른 여러 기업들도 2백~2백50kw의 연료전지를 개발하거나 판매하고 있다.

예컨대 2백50kw용량의 연료전지는 연쇄상가의 여러 상점이나 소형 의료센터에 전기를 공급할 수 있다. 최근 뉴욕시 타임스퀘어에서 완공된

한 빌딩의 개발자들은 건물에 온수를 제공하고 전면을 밝히며 예비전력을 공급하기 위해 2기의 2백kw 연료전지를 설치했다. 이 건축물은 개발업자(더스트 오개니제이션사)가 생태학적으로 건전하다고 생각된 기술을 돋보이게 설계했다고 해서 '그린 빌딩'으로 불리고 있다. 최근 뉴욕시의 센트럴 파크내 경찰지서에도 2백kw의 연료전지가 설치되었는데 연료전지를 사용함으로써 전선을 지하로 끌어들이기 위해 공원을 파헤칠 필요가 없게 되었다.

미국 네브라스카 소재 오마하제일 국민은행은 1999년 2월 산하의 신용카드거래를 처리하는 기술센터에 4기의 2백kw 연료전지를 설치한다고 발표했다. 이 은행이 연료전지를 선택한 것은 잠깐동안 전력공급이 교란되어도 큰 대가를 치뤄야 할 이런 작

업에는 특별히 높은 신뢰도를 가진 전원이 필요하기 때문이다.

제네랄 일렉트릭(GE)사의 파워 시스템부와 플러그 파워사는 합작하여 35kw까지의 용량을 가진 PEM을 시판, 설치 및 서비스를 제공하기로 합의했다. 이 합작회사는 1999년 후반 PEM 원형의 현장실험을 개시하고 2001년 초에는 최초의 가정용 규모의 연료전지를 설치하는 서비스를 개시할 계획이다. 현재 플러그 파워사는 뉴욕주 벨레빌의 한 가정에 7kw짜리 PEM 연료전지를 설치하고 가동중이다.

PEM에 승부를 걸고 있는 다른 하나의 기업은 35w에서 5백w에 이르는 소형 연료전지 메이커인 미국 뉴저지주 벨리빌의 H파워사다. H파워사는 보통주택용으로 연료전지를 사용할 것을 권장하는 한편 예비전력,

장거리 전기통신 그리고 수송분야에서 연료전지를 응용하는 길을 모색하고 있다. 이 기업은 비상한 마케팅 전략을 펴면서 새로운 천년의 고비를 맞이하여 소프트웨어의 갑작스런 이 상에서 오는 정전에 대비하여 연료전 지를 사용할 것을 권장하고 있다. 이 기업은 또 뉴저지주 교통국용으로 연 료전지 전력원을 가진 65개의 이동 용 메시지 도로표지를 개장(改裝)하 고 있다.

이밖에도 PEM 개발회사로서는 엔지니어링기업과 손을 잡고 일하고 있 는 워싱턴주 스포케인 소재의 아비스 타 래브사, 1.5~3.0kw 연료전지에 주력하고 있는 일본의 미츠비시전기 회사, 압축수소로 가동하는 1kw PEM 연료전지 시스템을 개발하고 있는 일본의 산요사 등이 있다. 산요 사는 또 천연가스나 메탄올가스를 사 용하는 2kw의 연료전지를 개발할 계획을 하고 있다.

## 배터리와 연료전지

지난 30~40년간 휴대용 전자제품 은 몰라보게 발전했으나 배터리의 모 습은 크게 변한 것이 없다. 오늘날 장난감에서 랩탑컴퓨터에 이르는 모 든 전자제품에서 약 20w까지의 전력 이 필요할 때는 어쩔 수 없이 소형 배터리를 선택할 수 밖에 없다. 그러 나 배터리는 비싸고 무거우며 사전경 고없이 갑자기 전력이 소진해 버릴 뿐 아니라 대체할 때는 낡은 배터리 의 처분문제가 등장하고 재충전하는 데 귀중한 시간을 소비한다. 그래서 배터리보다 더 좋은 대체품은 없을까 는 소리가 높아지고 있다.

그 해답을 연료전지에서 찾는다.

연료전지는 배터리와 마찬가지로 조 용하고 깨끗하게 화학에너지를 전기 로 전환한다. 그러나 진정한 장점은 수소원자로부터 전기에너지를 방출하 는 놀라운 능력에 있다.

메탄올로 가동하는 연료전지는 종 래의 니켈-카드뮴 배터리보다 20배 나 긴 시간동안 전력을 공급할 수 있 고 재충전에도 긴 시간이 필요없다. 연료를 보태줌으로써 간단하고 신속 하게 재충전할 수 있다. 지난날 연구 의 관심은 자동차용 연료전지에 집중 되었으나 최근에는 소규모의 응용분 야에 연구개발 노력을 기울이기 시작 했다.

실제로 이런 노력은 예비전력으로 수개월간 계속적으로 가동할 수 있는 셀전화(이동전화)와 1백시간 이상을 운용할 수 있는 랩탑컴퓨터 등 눈부 실 정도의 개선을 이끌어 낼 수 있 다. 그러나 연료전지를 소형화하는데 는 전력, 규모, 편이성과 비용 등을 포함하여 여러 요소간의 까다로운 균 형이 요구된다.

전문가들은 가까운 장래에 연료전 지가 많은 전자제품에서 배터리와 교 체되어야 할 주요한 이유를 다음과 같이 수치로 제시하고 있다. 1백w 이하의 전력을 필요로 하는 전자제품 에서 배터리로 전력을 제공하는 경우 그 비용은 비교적 비싸다. 예컨대 5 백g 무게를 가진 20w의 니켈-카드뮴 배터리의 수명은 약 1시간인데 비용 은 약 20달러. 더 장시간을 사용하기 위해 리튬-이온 배터리를 이용하면 약 3시간동안 같은 양의 전력을 공급 할 수 있으나 비용은 적어도 4배가 더 든다.

이에 대해 메탄올을 사용한 같은

용량의 연료전지는 약 30시간 가동 할 수 있고 장치와 연료의 기본재료 는 2~5달러밖에 들지 않는다. 물론 싸게 양산할 수 있는 소형 연료전지 를 설계하는 일은 쉽지 않은 일이기 는 하다.

## 밝은 전망

캐나다의 벨러드 파워 시스템사와 미국의 H파워사는 종래의 연료전지 기술을 사용하여 20~100w 용량을 가진 소규모시스템을 개발했다. 아직 도 휴대용 전자장치로 가는 초기단계 이지만 원형의 성능은 이미 리튬-이 온 배터리와 비교할 수 있는 수준에 와 있다. 세계의 몇몇 연구집단들은 매우 잠재성이 큰 시스템 제작에 착 수하고 있다.

예컨대 독일의 프라운호퍼 태양에 너지시스템연구소는 지멘스PC시스 템과 함께 랩탑컴퓨터용의 연료전지 원형을 제작했다. 이 장치는 각각 일련의 5개의 연료전지를 가진 5개의 박판(薄板)으로 구성되어 있다. 고체 금속-수소화물 연료원을 사용하는 이 장치는 20w의 전기를 발전할 수 있 다. 이미 리튬-이온 배터리보다 약간 우수한 성능을 가진 이 장치는 현재 개량작업중이다.

또 뉴욕시 소재 맨해튼 사이언티픽 스사의 로버트 호커데이는 전자업계 로부터 원용한 생산기술을 사용하여 양산할 수 있는 마이크로 연료전지를 개발하고 있다. 미국 캘리포니아주 파사데나 소재 제트추진연구소와 남 캘리포니아대학은 폴리머 전해질과 특 수한 양극(陽極) 촉매를 개발했는데 백금과 루테튬(백금에 속하는 금속원 소의 하나)의 이 합금은 순수한 백금

보다 훨씬 싸다.

10w, 40w 및 150w의 출력을 가진 이 연료전지의 원형은 섭씨 90도에서 8일 이상을 계속 가동했다. 모터롤라사의 크리스토퍼 다이어는 수소와 산소를 포함한 혼합기체로부터 전기를 생산하는 박막연료전지를 개발하고 있다.

그런데 과학자들이 보다 좋은 수소 자원을 찾아 낼 수 있다면 소형연료전지의 상업화는 매우 빠른 속도로 전개될 것 같다. 연구자들은 여러해

동안의 조사연구 결과 메탄올이 소형 연료전지용으로는 가장 잘 어울리는 에너지원이라는 결론을 내리고 있다. 에너지가 풍부한 알코올은 비교적 싸고 편리하다. 예컨대 셀전화(이동전화)는 약국이나 슈퍼마켓에서 구입할 수 있는 값싼 메탄올 앰플로 가동할 수 있다. 그러나 메탄올은 에너지가 풍부하기는 하지만 그 사용에는 몇가지 엔지니어링문제가 얽혀 있다.

최근 미국 노스웨스턴대학의 테리 베이커는 믿을 수 없을 정도의 용량

을 과시하는 이른바 '흑연 나노파이버'로 불리는 탄소의 한 형태를 개발했다고 발표했다. 이 재료 1그램으로 10리터의 수소를 만들 수 있다고 알려져 있다. 이론상으로는 이런 물질을 이용하면 20w의 랩탑컴퓨터를 1개월 이상 계속해서 가동할 수 있는 연료전지도 만들 수도 있다.

아무튼 '흑연 나노파이버'와 같은 새로운 재료의 등장은 연료전지가 휴대용 전력원으로서 엄청난 잠재력을 갖고 있다는 것을 말해주고 있다. ⑤7

## 연료전지는 어떻게 전기를 생산할까?

연료전지차가 일반에게 알려진 것은 몇해밖에 안되지만 최초로 연료전지가 사용된 것은 1950년대였다.

1965년 이래 연료전지는 모든 유인 우주비행에서 모든 전력을 공급했다. 영국 물리학자 윌리엄 그로브가 수소와 산소의 전기화학적 결합으로 전기를 발전한다는 것을 시범한 것은 1839년이였다.

연료전지는 배터리와 마찬가지로 전기화학반응에서 하나의 반응체로부터 다른 반응체로 흐르는 전자들을 빼앗아 전류를 만든다. 연료전지는 전해질로 분리된 양극과 음극으로 구성되는데 이 전해질은 이온이라고 불리는 하전원자(荷電原子: 전기를 띤 원자)가 통과할 수 있는 물질이다. 연료전지가 가동할 때 수소는 음극을 통과하는 한편 산소는 양극을 통과한다. 백금과 같이 고도의 전도성을 가진 촉매가 각 수소원자로부터 전자를 빼앗아 이온화(전자를 잃거나 또는 얻어서 전하를 가진 원자 또는 원자단)한다. 수소이온과 전자는 서로 다른 길을 통해 양극으로 간다.

수소이온은 전해질을 통해 이동하는가 하면 전자는 외부회로를 타고 이동한다. 도중에 이 전자들은 조명기구나 또는 모터와 같은 전기장치를 가동하는데 사용할 수 있다. 양극에서 수소이온과 전자는 수소와 합쳐 물을 형성한다. 하나하나의 연료전지는 쓸만한 전력을 충분히 생산할 수 없기 때문에 여러개의 전지를 함께 클럽 샌드위치(보통 3장으로 된 토스트에 차게 한 닭고기 또는 칠면조고기, 베이컨 또는 햄, 거기에 레터스나 또는 토마토를 곁들여 사이에 마요네즈 소스를 친 샌드위치)처럼 묶는다. 이 장치는 수소와 산소를 함께 공급해 주는 한 직류전기를 제공한다.

산소는 일반적으로 주변의 공기로부터 얻을 수 있으나 수소는 화석연료를 분해하여 수소를 생산하는 '리포머'라는 이름의 시스템에서 얻는다. 연료전지의 장점중의 하나는 연료원이 매우 다양하다는 점이다. 수소가 풍부한 어떤 물질도 수소의 소스가 될 수 있다. 그 후보중에는 암모니아, 천연가스, 석유추출물, 액체 프로판, 기화석탄 등의 화석연료 그리고 에탄올, 메탄올, 바이오매스 등 재생가능한 연료들이 포함된다.

수소는 또 태양, 풍력 또는 지열공장으로 생산할 수 있다. 심지어 쓰레기매립장과 물처리공장에서 나오는 페가스를 사용할 수도 있다. 리포머는 연료를 분해하여 수소를 만들 때 오염물질을 방출한다. 그러나 재래식 가스연소터빈에 비하면 특정한 오염물질과 배출제어방법에 따라 10분의 1에서 1천분의 1 정도로 매우 적다.

## 연료전지의 다섯가지 모습

연료전지는 사용하는 전해질에 따라 인산(磷酸), 용융(熔融)탄산염, 고체산화물, 양자교환막 및 알칼리성 등 다섯가지 형태로 분류된다. 인산연료전지(PAFC)는 그중에서 가장 성숙한 기술이며 100kw 이상의 용량을 가지고 상업적으로 제공되고 있는 유일한 연료전지다. 지금까지 상업용으로 팔린 연료전지는 모두 PAFC였다. 전세계를 통틀어 12개사(그중 7개사는 미국기업)가 PAFC를 시판하거나 개발하고 있는데 그중에서 가장 큰 기업의 하나는 1980년대 이래 종사해 온 유니아이티드 테크놀로지사 산하기업인 온시(ONSI)이다. 이 기업은 거의 모두가 천연가스로 가동되는 약 1백70기를 설치했다. 그중 일부는 수만시간 가동되고 있다. 미국에서 판매된 '온시' 연료전지의 대부분은 1996년 이래 미 국방부와 에너지부가 운영하는 프로그램에 따라 보조를 받았다. 구매자는 kw당 1천달러나 또는 총사업비의 3분의 1을 보조받는다. 이 프로그램은 구매자와 90개 이상의 연료전지발전소 설치업자에게 이미 1천8백만달러 이상을 나누어 주었다. 일본의 몇개 기업들은 50~500kw용량을 가진 1백20여기의 PAFC를 팔았다. 이 중에서 몇기는 4만시간 이상의 가동서비스 기록을 갖고 있다.

미국과 일본에서는 대부분의 PAFC는 열과 전력을 생산하는 전력생산시설용으로 팔렸다. 최근에 와서는 가동을 중단할 수 없는 쓰레기 매립지, 폐수처리공장, 식품가공처, 발전시설 그리고 뉴욕시의 '그린빌딩' 과 같은 '녹색시설' 등 연료전지를 위한 새로운 시장이 등장했다. 처음의 세곳에서는 달갑지 않은 폐기물이 뿔뿔했던 메탄가스를 연료전지용으로 공급함으로써 연료전지의 높은 구매가격을 보상에 줄 수 있다. PAFC의 값은 수년간 kw당 약 4천달러선에 머물러 있는데 이것은 연료전지가 경쟁력을 가지는데 필요한 수준의 3배나 된다. 그래서 대부분의 연료전지 메이커들은 용융탄산염, 고체산화물 그리고 양자교환막과 같은 다른 기술에 눈을 돌리기 시작했다.

용융탄산염 연료전지(MCFC)와 고체산화물 연료전지(SOFC)는 섭씨 6백50도를 넘는 높은 온도에서 운영해야 한다는 유사점을 갖고 있다. MCFC는 용해질이 녹을 때까지 가동할 수 없고 SOFC는 연료를 내부적으로 개질(改質)하여 수소를 이온화하는데 높은 온도에 의존한다. 이런 연료전지에서 나오는 폐열을 잡아 생활공간과 물을 데우는데 사용할 수 있다. MCFC의 미국내 주역은 커네티컷주 댄버리 소재 에너지연구소(ERC)와 일리노이주 버리지 소재 M-C파워사다. ERC사는 캘리포니아주 산타클라라에 2mw 출력의 발전소를 세워 약 3천시간을 가동했다. 최근 ERC사는 2백50kw출력의 발전소 건설을 계획하고 있다. 10여개 일본 기업들도 MCFC 개발에 열을 올리고 있다. 한편 SOFC는 현재 세계 40개 기업들이 기술개발에 참여하고 있다. 그중에서 가장 큰 것은 지멘스사로 웨스팅하우스 파워 제너레이션사를 매입한 1998년에 창설되었다. 다른 주요 개발회사는 미국의 SOFC사, Z테크사, 맥더못사 등이다.

인산, 용융탄산염, 고체산화물 연료전지가 중앙집중식 전개방식이었다면 양자교환막(PEM)기술은 분산형 접근방법을 취한다. 최근 전해질 생산비의 큰 감축과 퇴화방지 촉매의 발명으로 PEM 연료전지에 대한 관심은 날로 높아지고 있다. PEM의 주요한 부품은 얇은 반투성막인데 이것은 전해질의 기능을 갖고 있다. 수소이온처럼 플러스하전의 입자는 이 막을 통과할 수 있으나 전자와 원자는 통과할 수 없다. 2~3년 전 개발자들은 야외용 옷에 흔히 사용되는 재료인 '고어텍스'를 막을 보강하고 운용특성을 크게 개선하는데 사용할 수 있다는 것을 발견했다. 이런저런 장점으로 이 장치에 대한 연구활동은 매우 활발하게 전개되고 있다. 현재 미국의 48개사를 포함하여 85개사가 PEM연구를 하거나 개발하고 있다. 예컨대 브리티시 콜럼비아주 버내비 소재 벨러드 제너레이션 시스템사는 2백50kw용량의 PEM의 설계작업을 하고 있다. 이 기업은 2001년에는 2백50kw의 PEM 연료전지를 팔기시작할 예정이다. 한편 스페이스셔틀(우주연락선)과 같은 이색적인 용도에서 비교적 오랜 역사를 가진 알칼리 연료전지는 70%의 높은 효율을 갖고 있어 관심을 모으고 있다. 지금까지는 코스트가 매우 높아 연료전지의 주류에 끼지 못했다. 그러나 몇몇 기업은 다른 형의 연료전지와 경쟁력을 가진 알칼리 연료전지 생산을 시도하고 있다.