

2005년의 꿈 연료전지



제 1 부 2005년의 꿈

제 2 부 기기설계의 상식을 뒤엎는 연료전지

제 3 부 일·미·EU의 개발경쟁 격화

제 4 부 시장을 견인하는 휴대기기용

제3부. 일·미·EU의 개발경쟁 격화

“연료전지를 휴대전화에 !”

목표하에 일본, 미국, 유럽의 메이커가 달리기 시작하였다. 자동차나 주택용에 비해 압도적으로 개발의 문지방이 낮은 휴대용기기.

그만큼 보급이 가장 빠르다는 견해가 유력하지만 넘어야 할 장벽도 많다. 이러한 과제해결을 위해 신카본·나노튜브, 프라렌, 보로하이드라이드 등 신재료의 투입이 일거에 이루어지기 시작하고 있는 것이다.

휴대기기에서의 탑재를 목표로 수년전부터 연료전지의 실용화에 대응하고 있는 벤처기업을 중심으로한 구미국가. 그리고 연구개발을 본격화하고 있는 일본의 일렉트로닉스 메이커들의 양 진영에 의한 연료전지의 개발경쟁이 격화되고 있다.

휴대기기 메이커가 요구하는 실용레벨에 도달하기까지에는 출력이나 에너지 밀도라고 하는 기

본적인 특성의 향상, 휴대기기에 적합한 전해질막의 개발 등 넘어야 할 허들이 기다리고 있지만, 실용화를 위한 연구개발이 착실히 한발씩 내딛고 있는 것만은 확실하다.

개발동향의 일단은 2001년 9월 30일~10월 3일 미국 캘리포니아주 애너하임에서 개최된 세계최대의 전지관련회의인 「POWER2001」을 통해 볼 수 있었다. 동 회의에서 구미의 5개사가 최신 개발동향을 각각 발표하였는데, Li이온2차전지 등과 마찬가지로 200명 정도의 참가자가 연료전지의 색션에 모여 그 관심의 높이를 짐작케 하였다.

구미기업의 의욕은 대단해, 「실용화의 목표는 2003년 이후로, 우선은 휴대전화기, 노트북 PC, PDA에 탑재할 계획이다」(미국 Manhattan Scientifics, Inc.), 「이번에는 이미지그림밖에 보여 줄 수 없으나, 다음 전시회에서는 연료전지를 삽입한 카메라일체형VTR 등을 공개하고 2002년 중반부터는 일부용도에서 양산을 개시할 계획이다」(독일 Smart Fuel Cell GmbH) 라고 실용화의



| 기 | 술 | 예 | 측 |

목표시기에 대해서도 구체적으로 나타내고 있다.

한편, 일본 일렉트로닉스 메이커에 의한 연료전지의 발표는 없었으나, 소니, NEC, 히다치제작소와 같은 메이커가 최근 공표한 시작품 등을 보면 그 수준을 엿볼 수 있다. 이제까지 없던 새로운 재료의 개발이 활성화되고 있는 듯하다.

메이커 각사의 기술개발의 포인트는 크게 4가지로 나뉘는데, ①전해질막 ②전극 ③연료 그리고 이러한 부재를 어떻게 구성/배치하는가 하는 ④시스템구성이 그것이다.

이중 휴대기기용 연료전지의 실용화를 위해 일본, 미국, 유럽의 메이커가 가장 중요시하고 있는 것은 ①~③ 부재용의 소재개발이다. 많은 기술자들은 소재만 개발할 수 있다면 연료전지의 수많은 문제점을 해결할 수 있다고 말하고 있으며, 최근 각사가 연이어 발표한 연구성과도 소재에 집중되어 있다.

「膜」으로 크로스오버를 방지.

「막이야말로 모든 것이다. 막만 가능하다면...」(복수의 연료전지메이커의 기술자). 연료전지 개발자의 대부분이 추구해 마지않는 것이 양질의 전해질막이다. 특성이 높은 막만 손에 넣을 수 있다면 휴대기기용 연료전지의 완성은 시간문제라고 단언하는 기술자도 적지 않다.

왜 신규의 막이 필요한 것일까? 그것은 현재의 막이 휴대기기용으로써 유력한 방식인 「다이렉트 메탄올 방식」에 적합하지 않기 때문이다. 현재의 전해질막에서는 연료극에서 반응을 일으키지 않은 채로 막을 통과하는 크로스오버현상이 발생한다. 이 때문에 모처럼 연료극에 충분한 메탄올이라도 자연스럽게 없어져 버리는 것이다.

현재, 일반적으로 이용되고 있는 것은 미국 DuPont사가 개발한 고분자고체 전해질막인 「Nafion」이다. 「Nafion」은 본래 식염전해용의 막으로 개발된 것으로써, 수소를 연료로 한 연료전지용의 막으로는 충분히 가능하나 메탄올의 통과를 방지하지는 못한다.

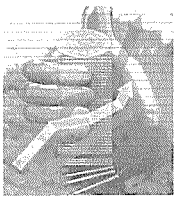
연료극에 충전하는 메탄올 수용액의 농도를 충

〈각사의 휴대기기용 연료전지의 개발현황〉

메이커명	개발목표	시작품의 시스템개요	사용연료	특 징	발표시기
독일 Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems사	2003년 이후 (사업화를 위한 제휴처 모색중)	최대출력 9W의 카메라일체형 VTR용시스템, 출력250mW에서 출력밀도 1W/cm ² 의 초소형연료전지	수소가스 (수소흡장합금 등에 저장)	카메라일체형VTR용 연료전지의 경우 기기에 탑재되어 있는 2차전지를 충전하기 위해 이용함. 외형치수는 가장 큰 충전지팩과 거의 동등.	2001.10
히다치제작소	2003~2004년	전압 2.4V, 출력 수W/l 의 시스템	메탄올	8개의 연료탱크의 상하에 장착하는 구조. 단위셀당 전압이 0.3V이기 때문에 전체로 2.4V의 전압을 확보. 메탄올 연료극에의 첨가에 미세관현상을 이용.	2001.9
혼다기술연구소 및 미국 스탠포드대학	2003년까지 기초 기술 확립	전압 1.5V, 전류밀도 100mA/cm ² 정도의 시스템	수소가스	셀을 평면으로 배치하는 구조. Si기판에서 수소가스의 유로를 형성. 셀을 4개 직렬로 접속해 전압 1.5V를 확보.	2001.9

2005년의 꿈 연료전지

메이커명	개발목표	시작품의 시스템개요	사용연료	특징	발표시기
공학원대학	2002.3까지 시작품 완성	Cell로 전압이 2.25V의 시스템	보로하이 드라이드(BH4)	연료극에는 보로하이드라이드, 공기극에는 과산화수소수를 사용하여 단위셀당 전압을 2.25V로 함.	미발표
미국 Lucent Technologies, Inc.	불투명	출력이 0.5W~20W의 휴대기기용 시스템	메탄올	Si기판상에 시스템을 구축. 연료극과 공기극을 동일 평면상으로 구성.	2000.4
미국 Manhattan Scientifics, Inc.	2003년 이후	최대출력 80mW의 휴대전화기용 충전시스템 등. 이외에 현재 동 25mW의 조합형 휴대전화기용 충전시스템 및 원통형 연료전지를 개발중	메탄올 (농도 15% 이상)	80mW의 휴대전화기용 충전시스템의 경우, 연료탱크의 양면에 10장씩 셀을 부착하고 있음. 개발중인 조합형 휴대전화기용 충전시스템의 외형치수는 명함의 절반정도 크기임.	2001.10
미국 Mechanical Technology, Inc.	미공개	출력 1.2W, MEA(전해질막/전극 복합체)의 출력밀도 60mW/cm ² , 시스템전체의 출력밀도 87cm ²	메탄올(메탄올 농도 3~5%) 및 수소	2000년부터 개발을 시작해 2001년 봄에 개최된 전시회에서 시작품을 발표하고 PDA를 가동시킴. 미국 듀폰사와 공동개발을 추진하고 있음	2001.10
미국 Motorola, Inc.	미공개	출력 100mW의 휴대기기용 시스템을 시작	메탄올(메탄올 농도는 2%)	구성재료로써 세라믹스(AI2O3)를 이용함. Si 및 탄소재료에 비해 코스트가 저렴. 2000년 초두에 발표한 휴대전화기용 시스템도 개발을 계속중	2001.10
NASA (미항공우주국)	2003년에 제품화	출력 3W의 휴대전화용 및 25W의 노트북 PC용 시스템	메탄올	일본메이커의 공동개발처를 모색중	2001.9
한국 Samsung Advanced Institute of Technology	2005년경	출력 40W, 중량당 에너지 밀도 140Wh/Kg의 시스템	메탄올	출력 1W의 휴대전화기용 시스템도 시작완료	2000.4
독일 Smart Fuel Cell사	2002년 중반에 제품화 예정	출력 25W, 전압 12V의 카메라일체형 VTR용 연료전지 등을 시작	메탄올	시작품을 2001년 10월에 독일에서 개최된 전시회에 출품	2001.10
도시바	미정	불명	메탄올	불명	2000.4
NEC	2005년	전극재료에 카본·나노혼을 채용한 시스템을 시작	메탄올	백금(Pt) 촉매의 직경을 2nm까지 작게함	2001.8
소니	미정	탄소계재료의 프라렌을 이용한 전해질막을 시작하고 동작을 확인	수소	막을 가습할 필요가 없음 (H2O의 도입이 불필요)	2001.8



| 기술 | 예 | 측 |

분히 높이는 것이 어렵기 때문에 반응속도가 올라가지 않고 결과적으로 출력향상에 한계가 있다. 「연료인 메탄올의 농도만 높일 수 있다면 중량당 에너지 밀도를 2~3배로 높일 수 있다.」(NEC 라보라트리즈 기초연구소 나노 테크놀로지 TG연구부장). 연구자의 대부분은 여기가 승부처라고 보고 있는 것이다.

연료가 되는 메탄올 수용액에서의 메탄올 농도의 이론상의 한계치는 50%이다. 여기까지 높일 수 있다면 다른 요소를 제외한다고 해도 Li이온2차전지의 다섯배에 해당하는 에너지 밀도를 달성할 수 있다. 그러나 현재로서는 크로스오버 현상이 발생하기 때문에 최대한 노력해도 20%가 한계이며, 일반적으로는 기껏해야 6~10%정도에 머무르고 있다.

획기적인 전해질막을 개발한 소니

막에 대한 주목이 모아지는 가운데 소니가 전해질막에 관한 신규기술을 발표하였고, 더구나 그 막이 전혀 새로운 재료를 사용한 대단히 의욕적인 발표이어서 관련기술자 대부분은 흥분하였다.

「메탄올의 통과성은?, 어떻게 하면 상세 데이터를 손에 넣을 수 있을까?」 소니는 전해질막에 종래의 파홀오로슬루혼산계 폴리머가 아닌 탄소계 재료의 플라렌(C60)을 사용하였다. 전해질막에 플라렌이 이용될 수 있다고 실증한 것은 이번이 처음으로 이런 연구는 정말 획기적이다.

통상의 파홀오로슬루혼산계 폴리머의 경우와 플라렌을 사용한 경우와의 최대의 다른 점은 프로톤(H+)의 전도기구이다. 종래의 막의 경우 프로톤은 파홀오로슬루혼산계의 관능기(OH기 등)가 복수로 모여져 형성하는 친수성 크라스타의 속을 통과한다. 이때 친수성 크라스타를 통과하

기 쉽도록 하기 위하여 프로톤을 프로톤수화물(H3O+)로 변환하지 않으면 안 되는데, 이 때문에 전해질막을 가습(가습)할 필요가 있다.

그러나, 플라렌을 사용한 막에서는 플라렌의 관능기에 부착되어 있는 프로톤이 차례로 구슬에 부딪치며 앞으로 나아간다. 종래의 막에 비해 관능기를 단위 무게당으로 5배정도 많이 도입할 수 있기 때문에 반응속도가 빨라지는 것이다. 이에 더하여 플로톤을 플로톤 수화물로 변환할 필요가 없기 때문에 막을 가습하지 않아도 된다. -20도의 빙점하에서부터 +100도를 초과하는 높은 온도에서도 이용할 수 있는 것이다.

종래의 전해질막에서는 메탄올이 통과하는 통로가 파홀오로슬루혼산계의 친수성 크라스타이지만, 플라렌을 사용한 막에는 이러한 통로가 존재하지 않아 메탄올의 크로스오버 현상을 막는 것으로 보는 관계자가 많다. 상세한 것은 아직 충분히 알 수는 없으나 소니의 막이라면 메탄올 농도를 50%까지 높일 수 있을지도 모른다.

소니는 개발한 전해질 막을 사용해 연료전지 셀을 시작하고 있다. 단, 이번의 시스템에서는 연료로 수소를 사용하고 있어 메탄올에서의 실험은 행하고 있지 않다고 한다. 이 때문에 실제로 메탄올의 통과를 방해할지 어떨지는 미지수로, 학회 등에서 소니가 상세한 것을 언제 발표할지 관계자들이 숨을 죽이고 지켜보고 있는 상황이다.

Nafion의 1/10을 실현한 히다치

소니와 마찬가지로 전해질막의 개발을 신규로 추진하고 있는 것이 히다치제작소로, 히다치는 Nafion막에 비해 메탄올의 통과를 10분의 1정도로 줄일 수 있는 막을 이미 개발하였다고 한다.

이 정도라면 충분히 상품으로서의 가치가 있다고 전지업계에서는 평가하고 있으나 히다치에서는 더욱 투과성을 낮추고 나서 상품화할 계획이다. Nafion의 막의 1/25~1/50까지 된다면 사업화할 계획인 것이다. 전해질막의 개발에는 히다치제작소에 더하여 히다치화학공업 및 히다치막크셀이라고 하는 그룹기업을 총 동원하고 있어 앞으로 수년내 실현될 것으로 전망되고 있다.

전해질막의 다음으로 중요한 부재기술은 전극이다. 전극은 연료인 메탄올에서 산소반응에 의해 H⁺와 전자(e⁻)를 도출하는데 있어 중요한 역할을 맡고 있는데, 이 반응속도가 연료전지셀의 출력을 크게 좌우한다. 전극에서의 반응은 Pt(백금)촉매하에서 진행되며, 반응속도는 Pt입자의 표면적에 비례하기 때문에 되도록 Pt의 직경을 작게 하여 단위중량당의 표면적을 높이는 연구가 필요하다.

단, 과제는 Pt입자의 직경을 작게 하면 복수의 입자가 모여 굳어지는 현상인 응집이 발생하기 쉬워진다는 것으로, Pt 원자의 직경은 약 0.3nm~0.4nm인데, 궁극적으로는 이 원자 한 개 한 개를 재료인 활성탄(카본블랙, 아세톤블랙 등)에 깔아놓는 것이 이상적이다. 하지만 이렇게 하면 가격이 증가하기 때문에 직경 2nm정도가 최적치인 것으로 보고 있으나 통상의 재료에서는 응집할 확률이 낮을 필요가 있어 직경 5nm정도가 이제까지의 한계였다.

경탄할 만한 기술을 개발한 NEC

NEC가 개발한 것은 Pt의 재료에 탄소재료의 카본나노혼을 사용한다고 하는 것이다. 이것을 사용하면 직경 2nm의 Pt입자가 응집하지 않는다고 한다. 카본나노혼은 AC기초연구소에서 1991

년에 발견한 카본나노튜브의 일종으로 카본나노튜브와 비교해 끝이 각상의 구조를 채택하는 것이 특징이다. 또한 제조비용이 낮아 카본나노튜브가 1g당 500불인데 비해 1g당 1~20불까지 가격을 낮출 수 있다고 한다.

카본나노튜브를 연료전지용 수소저장 탱크의 수소 흡장재료로써 사용한다고 하는 아이디어는 이미 존재하고 있었으나 전극재료에 이용한다고 하는 예는 적었다. 이 아이디어는 카본나노튜브의 소재로써의 가능성을 추구하는 가운데 발생한 것이다.

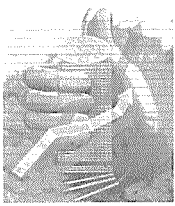
카본나노혼을 재료로 사용할 때에 Pt입자가 왜 응집하지 않는가 하는 원리는 아직까지 해명되지 않고 있으나, NEC는 그 이유를 카본나노혼은 복잡하게 얽힌 상태로 섬유상으로 모여있고 이 섬유사이에 Pt입자가 들어가면 움직일 수 없게 되는 것은 아닌가 하고 보고 있다.

NEC는 개발한 전극재료를 이용한 연료전지를 시작(試作)해 단위 셀당 0.3V의 출력전압을 확인하였는데, 이때의 전해질막에는 Nafion막을 사용하였다. 동사에서는 2003년을 목표로 사업화해 2005년에 휴대기기용으로써 제조할 계획이다.

Pt입자의 사용량을 삭감

Pt의 입자를 작게 해 단위최적당의 표면적을 높이려는데는 또다른 이유가 있다. Pt는 귀금속으로 중량당의 가격이 대단히 높기 때문인데, 현재는 1g당 2000~3000엔 정도 한다. 연료전지의 저가격화를 위해서도 Pt입자 자체의 사용량을 가능한 한 줄일 필요가 있는 것이다.

현재 이 Pt입자 사용량을 약 10분의 1로 삭감하는 기술은 일본전지가 개발하고 있는데, 이것



| 기술 | 예 | 측 |

이 성공한다면 대폭적인 저가격화가 가능하다.

일본전지가 개발한 기술은 촉매반응에 기여하는 Pt입자의 비율을 높인 것이다. 통상의 Pt입자는 활성탄의 탄소입자표면에 부착되어 있다. 이것은 전해질막/전극복합체(MEA)를 제조할 때 고분자 전해질막의 골격과 함께 도포되어 형성된다. 도포시에는 Pt입자가 고분자 골격의 내부에 들어가 버리기 쉬워지는데 골격내부에 들어간 Pt입자는 촉매반응에 기여할 수 없다.

이에 일본전지는 우선 탄소입자의 표면에 고분자 골격을 형성하고 그후에 Pt이온의 용액을 침투시킴으로써 골격외에 부착시키는 수법을 채용하였고, 이 결과 Pt입자 사용량의 삭감이 가능해졌다고 한다. 또한 일반적으로는 0.1mg/cm²정도가 필요하지만 이미 0.01mg/cm²에서의 충분한 반응성이 확인되었으므로 앞으로는 0.001mg/cm²까지는 가능할 것으로 보고 있다.

연료전지의 개발타겟이 되는 세 번째의 소재는 연료 그 자체이다. 일반적으로 휴대기기용 연료전지의 연료로는 메탄올을 사용한다는 것이 지배적으로, 구미의 메이커가 오로지 다이렉트 메탄올형의 개발에 착수하고 있는 것이 이를 뒷받침한다. 그러나 여기에 이론을 제기하는 움직임이 일고 있다.「왜 메탄올을 사용하는가? 메탄올을 사용하면 문제가 많지 않은가?」(공학원대학 공학부 환경화학공학과 연구그룹). 동 연구그룹에서는 메탄올 대신에 수소와 호우소의 화합물인 보로하이드라이드계 연료를 사용하여 연구를 진행하고 있다.

보로하이드라이드계 연료의 경우 이론적인 출력전압치가 1.64V로 높으며(메탄올의 경우는 1.24V), 공기극의 산소공급에 과산화수소수를 사용하면 출력전압을 더욱 높일 수 있다. 이론적으로는 단위셀당 2.25V가 가능한데, 상온상압에서 이 값을 얻을 수 있다는 것이다.

따라서 동 연구그룹에서는 「휴대기기에는 이것 밖에 없다」고 말하고 있다. 메탄올을 사용한 연료전지의 예에서는 단위셀당 0.3-0.4V의 전압치가 일반적이라는 것을 고려하면 경이적인 출력인 것이다. 동 연구그룹에서는 이미 보로하이드라이드계 연료에 의한 전지를 시작(試作)하고 있으며, 그 단위셀당 출력 접압은 1.6V인 것으로 확인되었다.

보로하이드라이드계 연료를 사용한 경우에는 메탄올과 같이 전해질막을 통과하는 크로스오버 현상이 일어나지 않으며, 또 메탄올은 반응시에 독성이 있는 중간생성물(홀롬알디히드 등)이 미량 발생하지만 보로하이드라이드에서는 이러한 문제도 발생하지 않는다. 출력전압이 높고 크로스오버현상이 없다고 하는 특성만으로도 소재메이커들의 관심을 끌기에 충분한 것이다.

보로하이드라이드계 연료의 또 하나의 특징은 마이너스 이온화한 수소인 프로치드(H-)를 사용한다는 것이다. 프로치드는 통상의 수소에 비해 전자를 한 개 더 가지고 있어 한번의 반응으로도 출출할 수 있는 전자의 양이 두 배로 증가한다.

동 연구그룹에서는 시스템의 저가격화를 위해 Pt이외의 촉매로써 수소흡장합금을 사용하고 있는데, 동그룹의 스다씨는 수소흡장합금에 대한 연구를 20년 이상 계속하고 있다. 「나는 이제까지 수십년간 수소흡장합금의 연구에 온 힘을 기울였다. 그러나 성공한 것은 단지 하나뿐이다. Ni수소2차전지가 그것이다. 하지만 그 이후에는 무엇 하나 이루어지지 않았다. 오랜 연구속에서 한가지 알게된 것이 있다면 수소흡장합금을 사용하는 것은 다음 세가지밖에 없다고 하는 점이다. 그것은 ①전극 ②수소의 환원재료 ③촉매이다. 우리가 개발중인 보로하이드라이드계 연료전지의 전극에는 이 세가지의 특성을 모두 살린다는 의미

에서 수소흡장합금을 사용하고 있다」고 말하고 있다.

축매에 수소흡장합금을 사용하고 있기 때문에 저코스트화를 도모할 수 있다. 스다씨의 시산에 의하면 Pt를 사용할 경우 1g당 2000~3000엔이 소요되지만 수소흡장합금이라면 1g당 2~3엔이면 가능하다고 한다. 이 이론을 실증하기 위해 2002년 3월부터 보로하이드라이드계 연료를 이용한 휴대기기용 연료전지를 시작할 예정인 바, 노트북 PC에서는 60시간 구동하지만 휴대전화기라면 대기시간이 1개월인 것을 만들 수 있다고 한다.

하나의 과제는 보로하이드라이드계 연료의 제조 인프라가 정비되어 있지 않다고 하는 점이다. 현재 보로하이드라이드계는 1kg당 6000~7000엔 정도로 비싼 편이어서 이 제조비용의 삭감은 필수이다. 이에 비해 메탄올의 경우는 1kg당 400~900엔 정도로 저렴하다. 이 때문에 동 연구 그룹에서는 한번 사용한 보로하이드라이드 수용액을 리사이클하는 연구를 진행하고 있다. 수백 ~ 수천회의 리사이클에 견딜 수 있다면 1kg당 600~700엔까지 제조비용을 낮출 수 있게 되는 것이다.

연료전지의 개발을 위한 네 번째의 과제는 이러한 소재의 최적배치를 포함한 시스템구성이다. 「어떻게 작게 조합할 수 있는가?」하는 휴대기기용 연료전지를 실현하는 조건으로써의 소형화 및 실장면적의 삭감이 바로 그것이다. 휴대용에 있어서의 소형화는 자동차용이나 가정용의 연료전지와는 비교할 수 없을 정도로 중요한 요소라 말할 수 있다.

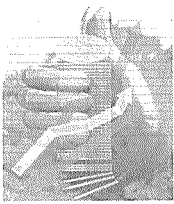
특히, 휴대기기용에서는 자동차용 전지처럼 셀의 적층이 불가능하다는 점이다. 휴대기기의 동체를 생각하면 셀을 평면에 설치하는 것이 필요하다. 평면에 설치한 셀을 어떻게 직렬로 접속해 전압을 확보할 것인가가 개발의 관건인 셈이다.

셀의 유지재료에 Si기판 등 전혀 새로운 재료를 이용하는 메이커도 있는데, 시스템구성의 연구에는 미세가공제조기술의 중요성이 증가하고 있기 때문에 이러한 분야를 특기로 하는 반도체 메이커 등의 발표도 이어지고 있다. 셀을 평면으로 배치해 고출력을 가동시키고 있는 맨하탄사의 필름상 연료전지는 폴리에스텔필름의 양측에 설치한 연료극 및 공기극으로 구성된 몇 개인가의 셀을 미세공으로 직렬 접속하는 구성을 채용하였다. 이에 따라 동일 평면상에 고밀도로 셀을 설치할 수 있기 때문에 높은 출력밀도의 실현이 가능하다. 현시점에서의 출력밀도는 3~5mW/cm²이지만 10mW/cm²정도까지 높이는 것을 목표로 하고 있다.

사용하는 폴리에스텔 필름은 10~20 μ m으로 얇은데, 여기에 방사선 기술에 의해 직경 0.03 μ m의 미세한 구멍을 무수히 만들고 필름을 전해질 용액에 침투시킴으로써 전해질막을 형성시킨다. 필름의 양면에는 마스크를 이용해 전극을 만들고 필름을 매개로 마주한 1조의 전극과 그 사이에 있는 전해질막으로 한 개의 셀을 구성한다. 동일 평면에서 이웃한 셀끼리는 절록되어 있는데, 미세공 속에 금(Au)을 증착하여 연료극과 공기극의 도통을 취함으로써 각 셀을 직렬로 접속하고 있다.

동사에서는 전해질막에서 메탄올의 크로스오버 현상을 억제하기 위해 연료극측에 바리아층으로써 패러디움(Pd)층을 만드는 것도 연구하고 있는데, 패러디움층에 의해 전해질막은 메탄올을 투가시키지 않고 프로톤만을 통과시킬 수 있게 된다. 이러한 연구가 성공을 거두면 다이렉트 메탄올 방식의 실용화가 가능해지는 것이다.

또한, 맨하탄사에서는 원통형의 연료전지도 개발중에 있는데, 원통형의 연료탱크 주위를 둘러



싸도록 MEA를 부착시킴으로써 현행의 2차전지와 호환성을 취할 수 있다.

Si기판에서 셀을 삽입하는 방식

Si기판을 연료전지 셀에 이용하는 연구도 진행 중에 있다. 이 수법으로도 셀을 평면에 설치할 수가 있는데, 혼다의 연구 자회사인 혼다기술연구소는 미국 스텐포드대학과 공동으로 연료전지를 시작(試作)하였다. 이 시스템의 특징은 전해 질막과 전극으로 구성된 여러 장의 단위셀을 평면상으로 나열하고 직렬로 접속하여 직경 10cm의 박형 원반상의 Si기판에서 삽입하는 것으로, Si기판에는 마이크로가공기술을 응용하여 미세한 가스 통로를 만든다.

일반적인 연료전지의 경우 몇 개인가의 단위셀을 적층함으로써 전지를 구성하는 경우가 많은데, 이 적층형에 비해 구조가 간단하기 때문에 품질이 안정되고 제조공정을 간략화할 수 있는 등 양산에 적합하며, 또한 출력밀도의 향상등 기대할 수 있다고 한다. 두께도 적층형에 비해 얇아 실험에서는 전압 1.5V, 전류밀도 100mA/cm², 발전효율 40%를 달성했다고 한다. 연료에는 순수소를 사용하였다.

혼다는 이번의 시작품을 베이스로 차세대의 전원으로써 로봇 및 개발중인 보행기능 보조장치 등에서의 활용을 검토하고 있으나 얇은 두께를 살릴 수 있다면 휴대기기에도 적용할 수 있을 것으로 보고, 우선은 2003년까지 기초 기술을 확립하는 것을 목표로 하고 있다.

히다치제작소도 연료전지 셀의 시스템구성을 연구하고 있는데, 연료극에의 연료공급에 모세관 현상을 이용하여 전용펌프 등의 외부장치가 없이도 가능하게 하였다. 연료 탱크를 끼워넣는 형태로 상하에 셀을 배치하여 총 8개의 셀을 만든 것이다. 셀 1장당의 면적은 1cm²정도이고 출력은 각각 0.3V이므로 시스템 전체로서는 2.4V의 출력을 얻을 수 있다.

2차전지를 충전하는 시스템으로

이외에 2001년 9월말에 개최된 「POWER2001」에서 미국 모토로라가 발표한 시작품도 시스템구성을 연구한 것으로 출력 등의 기본특성을 향상시키고 있다. 이 기술은 2000년 초에 동사가 발표한 연료전지 탑재 휴대전화기 컨셉품의 기반이 되는 기술로, 5cm 0cm정도의 산화알루미늄(AI₂O₃)계 세라믹TM 기판상에 연료전지 및 DC-DC 컨버터 메탄을 공급을 위한 마이크로 펌프, 메탄올의 농도를 측정하는 센서, 연료탱크 등을 실장하고 있다.

연료전지의 외형치수는 5cm×5cm로 기판과 동일하게 산화알루미늄(AI₂O₃) 세라믹스로 구성되는데, 이 연료전지 속에 4개의 셀을 평면상에 병렬로 형성한다. 출력은 200mW이나, 마이크로펌프에서 50mW, DC-DC 컨버터에서 26mW, 제어 회로에서 20mW, 센서에서 4mW로 총계 100mW를 소비하기 때문에 시스템으로부터 도출할 수 있는 출력은 100mW가 된다. 모토로라는 실제의 휴대전화기에 탑재하는 경우 2차전지를 충전하기 위한 시스템으로써 이용하는 것을 고려하고 있다고 한다.

제4부. 시장을 견인하는 휴대기기용

연료전지시장이 드디어 활성화되기 시작하고 있다. 우선은 주택용부터 실용화되지만, 그것이 큰 시장을 형성하는 것은 휴대기기에서의 실용이 시작되는 2003년 이후이며, 자동차·가정·휴대기기에서의 본격적인 보급은 2010년경이 될 것이다.

고체고분자형 연료전지는 다른 연료전지와 비교해 에너지 밀도가 높으며, 또 저온에서의 운전이 가능하다고 하는 특징이 있다. 현시점에서는 자동차용 구동원이나 주택용 발전설비, 휴대기기용 전원이라고 하는 부하응답의 신속함이 요구되는 용도를 상정하고 실용화를 위한 연구개발이 진행중에 있다.

고체고분자형 연료전지는 아직 일반 User가 구입하는 시판 베이스에는 이르지 못하고 특정 User를 위한 시작품을 만들고 있는 단계로 필드 테스트의 범위를 벗어나지 못하고 있다.

주택용 연료전지의 시장은 2001년경부터 형성되기 시작하였으며, 자동차용으로 본격적인 양산이 시작되는 것은 2010년 이후가 될 것이다.

휴대기기용은 개발초기단계라고는 하나 실용화에의 움직임은 빨라 자동차용보다도 빠른 시기에 시장이 활성화될 가능성이 크다.

오늘의 주역은 역시 자동차

주택 및 자동차용으로 2000년에 시작(試作)된 연료전지의 생산대수(실험실용은 제외)는 200대 정도로 전년 대비 두 배 증가한 것으로 추정된다. 그 내역은 자동차용이 약 10대이고 나머지가 주택용이며, 휴대기기용은 아직 실험실 수준에 있어 그 수를 셀 수 있는 정도는 아니다. 자동차용

은 전년과 거의 동일하나 상용화를 앞두고 주택용 시작품의 생산량이 증가하였다. 2001~2002년에 상용화를 목표로 하고 있는 미국 연료전지 메이커의 생산이 많아졌기 때문이다.

메이커별로는 미국 플러그 파워사가 113대로 최대를 기록하고 있고 여기에 미국 H Power사가 40~50대 정도로 뒤를 잇고 있다. 양사 모두 2000년말에는 실험단계의 시작품에서 시장예의 투입을 전제로 한 실용품으로 전진하였다. 한편 2004~2005년의 실용화를 계획하고 있는 일본의 주택용 연료전지 메이커는 후진을 면치 못하고 있는데, 아직 년간 몇 대 정도의 제조에 지나지 않아 상용화에 대한 미국과는 온도차를 느낄 수 있다.

생산대수에서는 자동차용이 주택용에 비해 1자리수가 적으나, 연구개발을 견인하고 있는 것은 오히려 자동차용으로, 생산출력량 및 소비되는 재료의 양을 비교해 보면, 우선 생산출력량에서는 자동차용과 주택용은 동일한 규모라고 말할 수 있는데, 자동차용의 출력은 약 50~100kW/대, 주택용은 약 5~7kW/대이므로 자동차 한 대의 생산출력량은 주택용 10~20대분에 상당하는 것이다.

또한, 주택용은 실용화 직전의 단계에 있으므로 실험용의 연료전지는 적지만, 자동차용에서는 한 대의 시작품을 만드는데 실험단계에서 10대 정도의 폐기가 있다. 다시 말해 출하대수의 10배에 상당하는 재료를 소비하고 있는 셈이다. 특히 자동차에서는 고도의 안전성이 요구되므로 광범위한 환경조건에 적용할 필요가 있으나 이 요구를 만족하는 연료전지의 수준은 그리 높지 않다. 또한 자동차 메이커는 연료전지 뿐만 아니라 MEA(Membrane & Electrode Assembly) 등의 재료 그 자체도 개발하고 있다.



이 결과, 현재 공급되고 있는 고체고분자 연료 전지용 막의 약 9할이 자동차용으로 소비되고 있어, 주택용의 상용화를 앞두고도 재료메이커가 자동차용에 주목하고 있는 이유는 여기에 있다고 말할 수 있다.

자동차용의 본격적인 양산은 2010년

자동차메이커 각사는 2003년경을 실용화의 목표로 내걸고 있는데, 2001년부터는 공공시험용으로 연료전지용 자동차를 생산할 필요가 있어 시작품의 생산대수는 연간 수 십대 수준으로 급증하였다.

단, 연료전지 자동차가 기존의 가솔린 자동차처럼 양산되는 것은 빨라도 2010년까지는 생각하기 어렵다. 가솔린 가격이 급등하거나 각국에서 극단적인 규제가 시행되지 않는 한 현재로써는 전기자동차 User가 타겟이 될 것이기 때문이다. 그 이유는 ①가솔린 개량품의 실용화, ②연료전지의 제조코스트다운, ③연료에 관한 석유업계와의 조정, ④하이브리드 자동차에 대한 자동차메이커의 개발투자의 회수를 들 수 있다.

①의 가솔린 개량품의 실용화에 대해서는 의외로 빨리 문제가 해결될지도 모른다. 2001년 8월에 미국 제너럴 모터스사는 가솔린 개량품을 탑재한 트럭 「S-10」을 발표하였다. 개량품의 체적이 너무 커 아직 실용적이라고는 말할 수 없으나, 메탄올 개량기는 3년만에 콤팩트화에 성공하고 있어 가솔린 개량품의 콤팩트화에도 10년은 걸리지 않을 것이다.

②의 연료전지의 제조비용을 낮추는 것은 커다란 과제라고 말할 수 있다. 당면한 경쟁상대를

전기자동차와 하이브리드 자동차에 두고 이상적인 저가격을 상정한 경우라도 2010년 시점에서 하이브리드 자동차를 이기는 것은 어려울 것이다. 단, 전기자동차가 상대라면 가격 경쟁에서 승기를 잡을 수는 있을 것이다.

③의 연료에 관한 석유업계와의 조정 및 ④하이브리드 자동차에 대한 자동차메이커의 개발투자의 회수는 기술이라기 보다는 비즈니스로써의 문제로, 연료전지자동차용 연료로써 자동차 메이커는 유흥분을 포함하지 않는 가솔린의 사용을 검토하고는 있으나, 석유업계 입장에서 보면 장래의 연료개발은 중요하지만 기존의 비즈니스를 깨끗이 손놓을 수는 없는 것이다.

자동차 메이커도 드디어 하이브리드자동차가 시장에서 꽃피어, 과거에 있어서의 많은 액수의 개발투자를 이제부터 회수하고 있는 단계로, 전기자동차 대체로써의 시장을 생각한 경우 캘리포니아 ZEV규제를 감안해도 2010년의 시점에서 연간 수만대가 상한선이라고 생각하는 것이 타당하다.

주택용으로 뛰어든 자동차업계

자동차용 시장이 현재로써는 활성화될 기미가 없으므로 자동차용을 메인으로 개발해 온 연료전지 메이커는 주택용으로 그 축을 옮기고 있다. 도요다 자동차는 연료전지 자동차를 적극적으로 개발하는 한편으로 1kW급의 주택용 연료전지를 개발해 이미 필드테스트에 들어가 있다.

캐나다의 발라드 파워 시스템스사는 자동차용 외에 250kW급의 업무용용으로 개발을 진행해 왔으며, 미국 인터내셔널 푸얼 셀스 LLC(IFC사)도 3kW급의 주택용 시스템을 개발하였는데,

2001년에 도시바의 연료전지 부문과 도시바 아이에피시를 설립한 것도 간과할 수 없다.

미국 Nuvera Fuel Cells사는 구주 프로젝트로써 프랑스 Renault사 등과 공동으로 연료전지 자동차를 개발하였으나 동사의 중요개발테마는 주택용으로 이전되고 있으며, GM사도 2001년 8월 5kW급의 정치형(定置型)을 개발하고 있음을 분명히 하였다.

본래부터 주택용을 중심으로 개발해 온 미국 H Power사 및 산요전기, 마쓰시다전기산업 등에 있어, 자동차용 연료전지 메이커의 참여는 위협으로 비친다. 도요타 자동차 및 Ballard사는 막대한 자금을 연료전지의 개발에 투입하고 있어 인적 리소스도 압도적이다. 양산에는 이르지 않았다고 해도 전기자동차의 대체를 목표로 중기적으로 연료전지 자동차를 생산하면 재료베이스의 양산효과도 있어, 동사가 추진하고 있는 코스트다운에 대한 대응은 타사에 하나의 압박으로 작용하고 있다.

가정용은 판매채널이 문제

주택용 연료전지에 필요한 수명은 4~8만 시간이라고 말해지고 있는데, 가속내구시험이 불가능하기 때문에 성능평가에 시간이 걸려, 개발에 빨리 착수한 연료전지 메이커쪽이 유리하다고 말할 수 있다.

주택용에서 또 하나 문제가 되는 것은 판매채널에 관한 정책이다. 예를 들면, H Power사는 ECO(Energy Co Opportunity)라고 하는 조직과 손잡고 그 시작(試作)으로써 12,300대를 8,100만불에 공급하기로 계약을 맺었으며, Plug Power사는 브랜드 힘이 있는 미국 제너럴 일렉트릭사와 판

매계약을 맺고 있다.

일본 가전메이커는 국내에 대리점망을 갖고 있는데, 자동차 메이커를 보유하고 있는 딜러는 주택용 기기의 취급에 있어 판매력의 강점을 발휘할 것으로 보여, 주택용 메이커는 자동차 메이커와의 연계를 모색하든가, 강력한 판매망을 하루 빨리 구축해 이를 살린 비즈니스모델을 만들어 가는 것이 필요할 것이다.

휴대기기용 일거에 보급될 것인가?

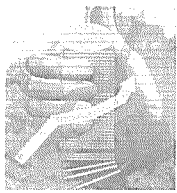
휴대기기용 연료전지의 출력베이스에서의 시장 규모는 주택용이나 자동차용에 비해 크지는 않지만 수량베이스에서는 압도적으로 많을 것으로 보이는데, 이는 기기의 장시간 구동에 대한 요구가 노트북 PC를 비롯해 디지털 카메라, 카메라 일체형 VTR 등에서 여전히 강하기 때문이다.

또한, 휴대전화기 메이커도 연료전지에 기대하는 바가 크다. 제3세대 이동체통신서비스용이나 휴대전화기 사용법의 변화에 의한 소비전력증가가 그 배경에 깔려 있어 2003~2004년경에는 휴대기기용 연료전지가 실용화될 것이다.

개발의 스타트면에서는 자동차용, 주택용보다 뒤떨어졌지만 가정용기기의 연료전지는 개발스피드가 압도적으로 빠르기 때문이다.

또 휴대기기용 연료전지는 출력규모가 작기 때문에 단기간에 많은 연료전지를 만들 수 있으며, 덩으로 자동차용 및 주택용과 비교하면 기기의 수명이 짧기 때문에 막이나 전극에 대한 기술적인 요구수준이 낮고 수명시험시간도 짧게 끝난다. 양산의 전망이 서면 순조롭게는 2005년경에는 시장이 활성화될 가능성이 있다.

휴대기기용에서는 콤팩트가 요구된다. 이 때문



에 고체고분자형에서는 개량품의 탑재가 허용되지 않아 수소저장방식이 될 것으로 예상되어 고성능의 수소저장방법의 개발이 과제라 말할 수 있다. 다이렉트 메탄올형의 경우는 연료저장방법은 문제가 되지 않지만, 사용연료와 출력밀도의 향상이 과제이다. 현시점에서는 출력밀도가 부족하므로 2차전지라는 하이브리드 전원이 절충안이 될 가능성도 있다.

휴대기기용 연료전지의 예

휴대기기용 연료전지의 예로써, 마쓰시다전기 산업은 노트북 PC용의 고체고분자형 연료전지를 시작(試作)하였는데, 외형치수가 크기 때문에 노트북 PC에의 탑재는 곤란하나 이 개발을 통해 해결해야 할 문제점은 찾은 것으로 생각된다. 또한, 1995~1996년에 걸쳐 H Power사도 노트북PC용의 연료전지를 개발한 적이 있는데, 이 때는 미국 IBM사가 이 시작품을 평가하였다.

미국 맨하탄 사이언티픽스는 휴대전화기의 충전기에 다이렉트 메탄올형 연료전지를 탑재한 「Power Holster」를 개발하고 상품화의 가능성을 모색하고 있으며, 미국 모토롤러사와 미국 로스알라모스 내셔널 레버래토리오도 휴대전화기용 다이렉트 메탄올형의 개발을 계속하고 있다.

또한, H Power사의 출처원의 하나인 메카니칼 테크놀로지사는 미국 듀폰사와 공동으로 휴대기기용을 개발하고 있다는 보도가 있다. 듀폰사는 자사의 고분자막인 「Nafion」을 베이스로 다이렉트 메탄올형을 위한 막을 개발하고 있는데, 연료전지 그 자체의 개발은 메카니칼 테크놀로지사의 자회사인 MTI MicroFuel Cell사가 맡고 있다.

일본에서는 NEC가 독자의 카본나노혼을 촉매

재료로써 응용한 연료전지를 개발해 휴대기기용으로 발표한 바 있어 이미 대형 휴대전화기 메이커 등으로부터 문의가 줄을 잇고 있다.

쉐어경쟁에서는 듀폰이 압도

고체고분자형의 구성재료는 막, 전극, 세퍼레이터 및 냉각판 등으로 크게 분류할 수 있다. 고체고분자막은 듀폰사외에 미국 W.L.Gore& Associates 사, 아사히초자, 아사히화학이 공급하고 있으며, 2000년의 공급량은 약 5만㎡였다. 공급량이 연간 수백만㎡가 되면 코스트가 30~50만불/㎡까지 내려간다고 말해지고 있으나, 거기까지의 노정은 아직 멀다.

현재로써는 듀폰사의 쉐어가 압도적으로 높아 성능평가용으로써 이용될 뿐만 아니라, Ballard사 및 H Power사 등의 주요 기업이 채용하고 있다. 두 번째는 Gore사가 뒤를 잇고 있는데, 이 두 개사에 비하면 아사히초자 등의 업체가 공급하고 있는 것은 극히 소량이며, 여기에 최근 미국 3M사도 참여해 왔으나 샘플을 입수하고 있는 연료전지 메이커는 한정적이다.

연료전지, 무시할 수 없는 시장규모로

연료전지용 고분자막 시장이 확대됨으로써 재료메이커는 개발자세를 본격화하기 시작하여, 듀폰사는 저가격화에 대응하기 위해 프로젝트팀을 발족시켰으며, Gore사는 미국공장의 가동을 개시해 일본과의 2극 생산체제를 구축하였다. 아사히초자 등도 설비투자를 행하고 있는데, 본래 연료전지용 고분자막은 식염전해용막의 설비를 빌려 만들어 왔으나, 최근에는 생산체제를 갖추었다.

식염전해용막의 시장은 연간 30만~50만㎡로,

연료전지용 시장이 무시할 수 없는 시장임을 보여주고 있는데, 앞으로는 파홀오로카스루혼산막이나 조금 다른 재료를 사용해 고온운전 및 저가 격화를 목표로 한 개발을 행할 움직임도 있다.

기업으로써는 독일의 FuMA-TEch사, Celanese AG 등이 유명한데, 금후는 막메이커, 촉매메이커, 그리고 연료전지메이커들 간에 MEA제작공정을 취급하는 움직임이 본격화될 것이다.

막이나 촉매메이커는 부가가치를 붙인 비즈니스를 행하는 것을 목표로 하고 있지만, 연료전지메이커는 MEA에 의해 연료전지의 성능이 결정되어 버리기 때문에 MEA를 코어기술로써 내부에 삽입하려고 하고 있다. 한편, 일본의 자동차메이커도 MEA의 연구를 적극적으로 추진하고 있다.

세파레터는 주택용 연료전지 시장의 활성화에 호응하면서 양산체제를 정비하고 있으며, 카본계에서는 쿠로부네 플레이트의 기계가공품에서부터 성형품으로 주류가 이전되고 있다. 해외에서는 미국 UCAR사가 Ballard사를 위해 팽창쿠로부네의 프레스 성형품을, 독일 SGL 카본 그룹사는 H Power사에 수지컴포짓트의 프레스 성형품을 각각 공급하고 있다.

일본에서는 日清紡이 사업화에 앞서가 2001년

8월 세파레터의 생산설비증강을 결정하고 200만장/년 생산체제를 발표하였으며, 유니치카도 빠르면 2002년에 1만장/월 규모로 사출 성형품을 생산할 계획이다.

이외에 SGL Carbon사 등도 적극적으로 활동하고 있어 격전을 벌이고 있으며, 금속계에서는 Nuvera사 및 Siemens사가 제작하고 있다.

재료메이커의 설비투자가 시작되어 드디어 연료전지가 실용화를 향해 크게 움직이고 있다. 자동차용과 주택용의 고체고분자형 연료전지시장만으로는 충분한 코스트 다운에 필요한 재료수요가 발생할지 어떨지 의문이었으나, 휴대기기용의 개발이 급피치로 진행되는 양상을 보임에 따라, 이것이 관련재료시장의 활성화를 후원하고 또 그것이 업무용 등의 시장을 활성화시키는 계기가 될 것으로 예상된다.

시장이 활성화되는 한편으로 연료전지관련 메이커에는 사업화를 위한 비즈니스 모델의 구축이 필요해지는데, 금후는 판매 및 기술업무제휴 등이 활발해져 주택용 메이커라면 판매채널의 구축, 생산기술을 포함한 코어기술의 확보 및 연료전지를 활용한 에너지 솔루션 사업에의 전개 등이 과제가 될 것이다.

닛케이 일렉트로닉스 2001년 10월호 번역자료임.