

Thema

| MEMS 기술을 응용한 마이크로 연료전지의 기술 동향 및 전망

박수길 교수
(충북대 공업화학과)

1. 서론

연료전지는 1839년에 처음 개념이 소개된 이래 1950년대에 우주선과 같은 특수분야에 사용되어왔으며, 1990년대에 환경오염 문제가 대두되자 환경오염의 부담이 적고, 가솔린 엔진의 2배에 가까운 에너지 효율을 얻을 수 있는 에너지로써, 자동차용 전원이나 고정동력장비의 보조전력으로 연구개발이 이루어져왔다. 이중 마이크로 연료전지는 1990년대 IT산업에서의 이동성 강화에 따라 이동형 전원시스템에 대한 수요가 급증하면서 개발이 시작되었지만, 경제성 및 소형화의 문제로 실질적인 개발 분야는 군사용 등 특수 용도에 국한되어 왔다. 그러나 휴대기기의 고성능·다기능화로 전력 소요량이 늘면서 지속적인 전원 공급에 대한 요구가 크게 높아졌고, 이에 따라 노트북 컴퓨터, 휴대폰 등 관련 기업들의 마이크로 연료전지 개발이 시급한 과제로 대두되었다. 특히, 마이크로 연료전지는 2차전지인 리튬이온 전지보다 최대 10배의 용량을 갖고 있어 전력 소요량이 커지고 있는 휴대단말기의 수요에 힘입어 실용화를 눈앞에 두고 있다. 마이크로 연료전지의 프로토타입은 이미 발표된 상태이며, 대부분의 주요 제조업체들이 2005년을 상용화 시기로 잡고 실용화에 박차를 가하고 있다. 이에, 2005년 이후 고성능 휴대단말기를 중심으로 2차전지를 점진적으로 대체할 것으로 보이며, 향후 2차전지를 제치고 이동형 전원의 주력 상품으로 부상할 것으로 예상된다. 본고는 향후 연료전지분야에서 가장먼저 상용화가 가능한 마이크로 연료전지에 대한 기술동향 및 전망을 논하고자 한다.

2. 마이크로 연료전지의 종류

마이크로 연료전지의 가장 큰 특징은 일반적인 재충전용 전지기술에 비해 매우 높은 전력밀도를 지닌다는데 있다. 마이크로 연료전지는 현재 상용화되고 있는 여타 전지에 비해 3배 이상인 300~400Wh/kg의 전력밀도를 지니며, 최대 3,000Wh/kg의 전력밀도까지 개발이 가능할 것으로 예측되고 있다. 즉, 마이크로 연료전지는 작은 용적에 많은 전력을 저장할

수 있어 휴대형 기기나 가전제품에서 많은 장점을 지니게 된다.

또한, 카트리지를 이용할 경우 충전도 간편하게 할 수 있으며, 연료의 연소과정과 열에너지를 기계적 에너지로 변환시키는 과정이 없어 기존 전지에 비해 10~20% 정도 높은 효율을 지닌다. 더불어 유해 가스의 배출이 1% 이하로 환경친화적인 에너지원으로써 향후 보급촉진이 기대되고 있다. 연료전지는 발전용량에 따라 <표 1>과 같이 구분되며, 5W이하의 초소형 연료전지는 휴대단말기, PDA와 같은 휴대단말기나 계산기 등 소형 전자제품에 활용될 것으로 보인다. 50W이하의 소형 연료전지는 노트북 컴퓨터를 비롯하여 캠코더, 소형 군장비 등에 활용될 전망이다.

표 1. 고분자 전해질 연료전지의 용량별 응용분야.

구분	용량	응용영역
대형	600 W 이상	전기철체어, 잔디깎는 기계, 산업용 전동공구 등
중형	100~600 W	전무가용 카메라, 원격기상측정기, 대형 장남감, 군 통신용등
소형	6~90 W	랜탑, 캠코더, 일반공구용, 군장비용 등
초소형	6 W 이하	휴대단말기, 보청기, 시계, PDA, 계산기, 소형 장남감등

마이크로 연료전지는 고분자전해질형 연료전지(Proton Exchange Membrane FC: PEMFC)와 직접 메탄올 연료전지(Direct Methanol FC: DMFC)가 주

표 2. 자동차용 연료전지의 특성.

구분	PEMFC	DMFC	AFC
전해질	수소이온 전도성 고분자막	수소이온 전도성 고분자막	수산화칼륨
이온전도체	수소이온	수소이온	수소이온
촉매	Pt/C	Pt-Ru/C, Pt/C	Pt/C
작동온도	100도 이하	100도 이하	100도 이하
연료	수소	메탄올	수소
연료원료	메탄올, 메탄	메탄올	수소
효율(%)	45	50	40
출력범위(W)	1~1000	1~100	1~100
용도	수송용, 가정용, 휴대용	휴대용	우주선

로 연구개발 중이다. 현재까지 PEMFC 시제품이 개발되었으나, DMFC에 대한 연구개발이 주를 이루고 있다. 이는 PEMFC에 비해 DMFC가 소형화에 적합하기 때문이다. 반대로, PEMFC는 에너지 밀도가 높고 운용온도가 낮기 때문에 휴대형 가전제품에 적합하다.

PEMFC는 전해질이 고체고분자 중합체로 다른 연료전지와 구별되며, 인산형 및 알칼리형 연료전지 시스템과 비슷한 막을 이용하는 연료전지는 촉매로 백금을 사용한다. DMFC는 메탄올을 직접, 전기화학적 반응으로 발전시키는 시스템이다. 전해질은 이온 교환막에 인산을 담지시킨 것으로, 시스템의 간소화와 부하응답성의 향상을 기대할 수 있는 장점이 있다.

AFC(Alkaline Fuel Cell)은 전해질로 수산화칼륨과 같은 알칼리를 사용하며, 미국에서 우주개발용과 해양 개발용 및 운수용으로 개발되었고, 아폴로 우주선에 탑재되어 전력생산 및 음용수 제조용으로 실용성이 입증되었다. AFC는 수소기반의 미래 자동차에 활용될 것으로 예상된다.

3. MEMS-연료전지 제조기술

최근에 MEMS 기술에 기초를 둔 연료전지의 개발에 대한 논문 및 보고서가 보고되고 있다. 세부적으로는 PEM과 DMFC system으로 다시 나눌 수 있는데, 이러한 결과는 다음과 같이 두가지 이유로 설명할 수 있다.

● micro-scale 현상을 이용하여 연료전지의 성능을 향상시, 전지로써의 성능 개선을 가능하게 한다. 그러나, 연료전지 장치에 가공기술이 사용되어진다면 판매이익은 현실화될 수 있다. 즉, 반도체와 microsystem 기술에서 가장 많이 적용되는 기술을 적용하는 것이다. 연료전지 조립의 micro-scale 현상은 더 작고, 더 나은 부피와 열과 질량 이동의 개선을 얻을 수 있었다. 이러한 기술들은 일반적인 stacking 기술의 문제점들을 해결해줄수 있는 것이다.

- ▶ 두개의 상 이동의 최적화를 위한 막의 초소형 가공 제작
- ▶ 이온행위고분자의 plasma 중합반응
- ▶ plasma treatment에 의한 친수성과 소수성의 변화와 각각의 치수와 초소형 유동영역의 최적화된 이동을 제작

● Micro-scale 연료전지 연구의 대다수는 micro-power의 적용에 목적을 둔다. 고에너지 밀도 능력의 근원은 Button 전지와 다른 작은 batteries에 비교, 이용한다면 새로운 소형화를 적용시킬 수 있으므로, 일반적인 연료전지 기술 stack의 소형화는 전지 치수를 줄이기에는 부족하다.

MEMS 연료전지에 대한 대부분의 접근은 기본적인 연구 및 재료의 발달을 포함한다. 고도의 작용력에 공정의 확립과 촉매층의 최적화된 전기판의 활성성을 필요로 한다. 새로운 연료전지 결합구조의 코팅공정은 높은 비용의 새로운 코팅 재료를 개발하는 것보다 적합하다. 초소형 모양의 기술은 집전체와 유동영역에 조립기술의 초소화 전자공학 packing 접근에 적용되었다. 비록 wafer 기술이 적용되었더라도 향후제품은 저비용의 제작을 고려하여 foil(박) 재료를 사용한다. 그림 1,2는 micro 연료전지의 설계 표준을 보여준다.

3.1. 초소형 연료전지의 Design concept

평면 디자인은 수동적으로 얻어지고, 연료전지의 가동은 전체적으로 자동 공급된다. 추가적으로

fan이나 공기의 움직임(이동)은 필요없으며, 높은 압력을 얻기 위해서는 cathode를 따라오는 셀의 anode의 연결은 셀에 직렬 연결한다.

본 컨셉을 위해 연료전지의 가스확산층(Gas diffusion layer : GDL)의 부가 없는 구성을 필요로 하며, 이는 셀에 인접한 사이에서 짧은 회로에 GDL 조각이 연속적으로 사용되기 때문이다. wafer 사용과 foil(박)공정과 유사한 수천개의 연료전지 공정의 개념과 상반된다. 그러므로 본 설계의 컨셉에는 확산층이 적용되지 않는다.

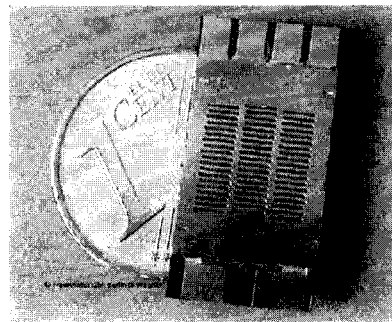


그림 1. Micro fuel cell with interdigitated serial connection three cells.

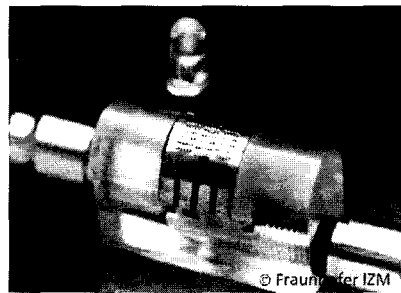


그림 2. Micro fuel cell powering a LED, bended configuration.

형식적인 확산층의 기능은 anode와 cathode를 통합하고 미세구조를 가정한다. 집전체 내부의 미세구조 제작은 형식적인 확산층의 탄소섬유의 크기를 재는 것이다. 더욱이 미세구조는 유동영역 제공과 MEA 위에 제공되는 동질의 가스를 확인하게 설계된다. 본 방법으로 완성된 연료전지는 3개의 박으로

되어있으며, 집전체는 MEA 박내부 사이의 형태와 유동영역의 위아래가 통합되었다. 그림 3은 마이크로 연료전지의 cross-sectional view를 보여준다. 다양한 크기의 셀은 동일한 방법으로 제작할 수 있다.

실물 선전용 제품은 그림 4에 따르면 0.18cm² 활동 영역에 3개의 연속적으로 연결된 셀로 제작된다. 초소형 연료전지의 전체 크기는 1cm×1cm이다. 전기적인 test pads의 도움으로 밖으로부터 각각 다른셀은 수용될 수 있다. sealing track은 같은 방법으로 3개의 모든 셀에 활동영역 주위에 설계한다. 그럼에도 불구하고 각각의 셀은 수소의 삽입과 배출을 가지고, 다른 셀들의 sealing은 배제한다. 그러나 밖쪽쪽의 sealing에 비교하여 단단한 상태를 낮춘다.

MEA과정의 다른 하나의 설계학문과 요점은 0.54cm² 활동영역에 하나의 셀에서 제작되는 것과 비교된다.

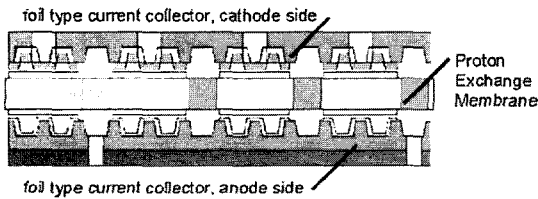


그림 3. Cross-sectional view of micro fuel cell

Foil-type의 초소형 연료전지 기술은 다음에 계속 되는 기술 요점에 기초한다.

- Poly - stainless steel foils의 샌드위치 모양
- 자유롭고 연속적인 lithography(리소그래피 : 석판인쇄술)와 모형의 미세구조
- 유동장의 초소형 모형
- MEA-전극을 감하는 모형
- 접착제의 밀봉과 전기적인 상호교류

3.2 집전체와 유동장의 제작

Metal-polymer foils은 sandwiched 미세구조 anode와 cathode로 되어있는 금속의 유동영역을 통합해서 집전체박이라 한다.

유동영역은 anode끝에 공기의 삽입구가 열려져 있고, cathode의 가스 삽입구는 sealing의 접합부분

은 초소형 모형으로 제작한다. metal foil은 연료전지의 뒷개로 작용한다. 실리콘 wafer를 제작하는 동압 박은 고정된다. 이 wafer는 회로기판에 이용하고 thin film 공정과 wafer level packing 장치의 사용을 허용한다.

10-30 μ m 두께의 stainless steel 박은 습식의 etching과 레이저 cutting 또는 punching의 방법에 의해서 가스와 경기의 삽입 개방을 제공한다. 후에 metal foil은 회로판에 굴절성을 인쇄하는 제조 기술의 사용은 polyimide foil 위에 얇은 판으로 만든다. Polymer foils DuPont Pyralux[®] 뒷개는 아크릴 접착성을 한쪽 끝에 광을 낸 B-staged 소유물을 변경한 DuPont Kapton[®]의 polyimide film으로 만들어 졌다. 보통의 구리판 회로를 구부러 사용하고, 공정과 표면의 treatment는 stainless steel foils로 변경한다. Metal-polymer sandwich foils은 초소형 연료전지 공정 동안 보다 그후의 사용하는 기계들의 안정성과 단단함을 확실히 한다. 다양한 층의 foil은 전기적 기능의 housing 없이도 표면속으로의 쉬운 통합으로 낮은 부피의 감소와 기계적으로 구부리기 위해 매우 얇아진다.(100 μ m 이하)

다음의 초소형 유동장은 reactive ion etching(RIE)의 polymer 형태를 갖는다. 측면의 치수는 5 μ m 작아지고 구조의 깊이는 50 μ m 낮아짐을 나타낸다. 미래에는 강력한 무늬를 새기는 것처럼 다수의 다른 공정에 더 사용될 것이다.

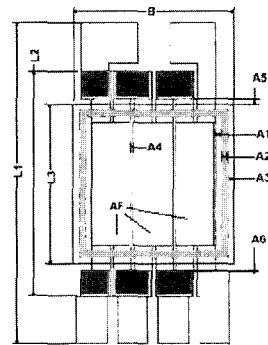


그림 4. Demonstrator layout

마지막으로 5-20 μ m 두께를 가진 전기도금 한 Au는 집전체 층의 초소형 연료전지 위에 침전시키고

무늬를 넣는다. 긴 시간 test와 실험의 부식으로 두께가 줄어든 금속화된 Au는 구리, 니켈금과 chromium의 다층층이 밖으로 운반된다. PEM과 DMFC 가동의 긴 시간 성과는 순수한 Au 레이저로 얻어진다. 집전체 cathode쪽의 열린구는 본질적으로 스스로 가동하는 기능을 RIE로써 조직화 한다. 구멍을 낸 stainless steel foils은 연료전지 표면 외부의 움직임 뒤에 dry etch mask를 사용한다. Cathode쪽의 Au 집전체는 금속망으로 설계된다. 이 방법으 집전체를 sandwich foil 안에 공기구멍 개방 영역에 덮는다. 이러한 자유 평판의 micro size의 금속전선은 설계기술의 특징에 따라 중요하다. 그것은 균질의 전류밀도 및 낮은 손실의 집전체에 생긴다.

3.3 MEA 전극의 모형

평면 배열 안의 여러세포에 MEA 조각을 사용해서 촉매전극의 전기적인 전도력에 의한 내부의 측로는 생길지도 모른다. 이 효과는 촉매/전극층 안에 전기의 격리한 단편을 조직에서는 피해야 한다. MEA 제작동안에 분리되는 전극이 실현된다면, 전극에 인접하는 사이의 거리는 몇 mm 넓게 된다. 이것이 초소형 연료전지에 적합하지 않고, 전체 두께는 mm 영역이다. 그러므로 기술모형의 감소는 RIE하는 동안 MEA shadow mask에 덮혀진다. 실험의 설계는 진공공정에 의하여 MEA의 최소 감소와 부식속도를 줄일 수 있다. 마지막으로 전극층의 레이저 제거의 더 나은 공정을 실험한다. 막이 오히려 투명해지는 동안 전극 레이저의 레이저 방사선 흡착이 아주 높기 때문에 잘못된 조정을 배제하고, 동시에 MEA은 양쪽에 전극모형을 만들 수 있다. 레이저 모형을 만드는 동안 공간의 가열은 피한다. 다른 방법으로 MEA의 높은 전지화학의 촉매 활성은 열을 잡아둘 수 있다. 레이저 제거는 전화장치 없이 활발하지 못한 대기 가스 안과 진공실안에서 운반 될 수 있다. 이런 기술은 MEA 단편 사이의 거리는 200 μ m 두께보다 적게 줄일 수 있다.

3.4 Micro 연료전지의 조립

막 바깥쪽 영역 위에 겹쳐 상호작용 되는 셀로부터 pad와 접촉한다. 따라서 연속된 연결은 그림 4로

써 pad위에 겹쳐 융합되면서 실현된다. 이런 관계는 전기적인 접촉성을 전도하는 것을 실현한다. 접촉 저항과 접촉력은 표면과 접촉된 micro 모형을 실질적으로 개선한다. 기술 또는 screen printing의 분배는 접촉성과 planar sealing 통합의 침전물에 사용했다. 조립하는 동안 연료전지 막은 진공척과 서로 달리 보전되게 고정한다. 마지막으로 연료전지는 수소로 제공된 주층에 통합되고 housing에 설치된다.

3.5 대기 상태에서 순환하는 기능에 의한 단일셀의 V/I조건

표준셀은 V/I 측정의 전기적인 특징을 갖는다. 측정은 cathode를 자연적 대기대류 아래와 실온에서

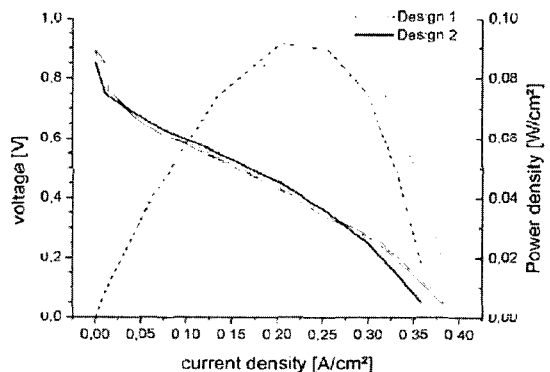


그림 5. Characteristics of PEM-micro fuel cells. Design 1: meander anodic flow field Design 2: parallel rib flow field

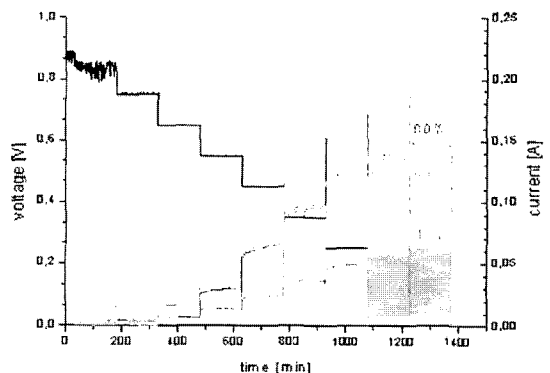


그림 6. Characterization of micro fuel cell at varying ambient humidity and 60°C at potential steps.

표 3. 마이크로 연료전지 개발업체 동향.

업체명	개발동향
MTI Micro fuel cells	- 마이크로 연료전지 프로토타입 발표 - 2005년 상용화를 목표로 6WH의 연료전지 개발 추진
Manhattan Scientifics	- 이동전화, 노트북, 캠코더, 진공청소기등에 가능한 DMFC개발중
Medis Technologies	- 효율이 리튬이온의 2배인 연료전지 개발완료 - 휴대폰 제업체외 이동형 전력 팩 개발중
PolyFuel	- 기존 전지 대신 휴대폰에 장착가능한 마이크로 연료전지 프로토타입 - 2005년 상용화를 목표로 개발 추진
Electric Fuel Co.	- 일회용 Zinc-air 마이크로 연료전지 개발

밖으로 이동시킨다.

모든 측정은 건조된 수소와 0.5sccm 수소의 흐름과 부가의 가습없이 이루어진다.

다른 측정은 상대적인 습윤과 다양한 온도변화에서 주위의 chamber 안에서 전도된다.

climate chamber 안의 연료전지는 시스템 순환에 의해 여분의 봉입은 보존되지 않고 공기의 움직임은 일어나지 않는다.

그림 5에서 보여주는 바와 같이 0.54cm²의 활동영역에서의 단일셀은 V/I의 특유한 특징을 나타낸다. 양쪽의 셀들은 디자인 1과 2는 비슷한 cathode 집전체에 400µm 열린구멍으로 보내진다.

디자인 1은 250µm wide channels의 anode flow field를 가지고 디자인 2는 rib구조와 100µm wide channels을 갖는다. 구조와 깊이는 20µm이다. 그림 5로부터 양쪽 타입 사이의 수행은 보다 작은 차이를 볼 수 있다.

다른 실험에서 anode flow field의 깊이는 25-40µm 사이에서 다양하게 나타난다. V/I곡선의 차이는 측정오류범위에서 나타난다. 셀의 낮은 channel 깊이는 긴시간 테스트 동안 높은 전력의 파동에 의해 보여진다.

그림 6은 climate chamber에서 긴시간 테스트의 예를 보여준다. 높은 온도에서의 셀은 최고 높은 습도를 갖고, 낮은 온도층에서는 낮은 습도의 최적 조건을 갖는다.

4. 연구동향 및 향후 전망

마이크로 연료전지가 가장 먼저 채용될 것으로 보이는 분야는 노트북 컴퓨터와 핸드폰이다. 노트북 컴퓨터는 전지 용량에 대한 소비자들의 불만이 가장 높은 데다 연료전지 탑재(내·외장)가 비교적 용이할 것으로 보이기 때문이다. NEC, Toshiba, Smart Fuel Cell 등은 이미 시제품 개발을 거쳐 2004년 중 연료전지를 탑재한 노트북 신제품을 출시할 예정이었으나 가격과 시장성 문제등을 이유로 2005년 하반기로 출시가 지연된 상태이다. NEC의 경우 연료전지가 내장된 제품으로 연속 구동시간 5시간을 목표로 하고 있으며, 2005년에는 40시간을 달성한다는 계획이다.

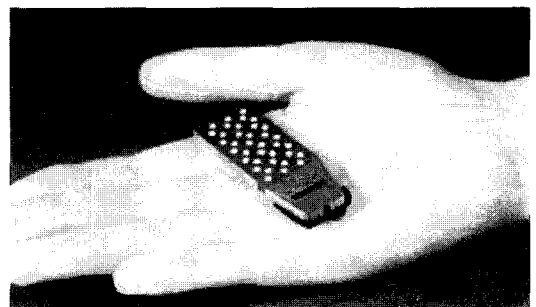


그림 7. Toshiba사의 micro fuel cell.

노트북 컴퓨터 이외에도 마이크로 연료전지 탑재는 휴대폰, 캠코더, 디지털 카메라, 전동공구, 청소기

등 다양한 분야에서 시도되고 있다. Ballard Power Systems, MTI Micro Fuel Cells 등 연료전지 전문기업은 물론 Sanyo 등의 2차전지 기업, 그밖에 Motorola, Sony, Hitachi 등 전자기업들이 휴대기기 각 분야에서의 주도권 확보를 위해 치열한 개발 경쟁을 벌이고 있다.

이동성이 중시되는 최근 IT산업에 있어서 이동형 전원은 흔히 심장에 비유될 정도로 중요한 역할을 수행한다. 현재까지는 이 역할을 2차전지가 주로 담당해 왔으나 마이크로 연료전지가 등장함에 따라 이동형 전원의 경쟁구도 변화가 불가피할 전망이다. 이동용 전원의 최대 시장인 휴대폰 분야에서 마이크로 연료전지가 얼마나 빨리 경쟁력을 확보하느냐에 따라 경쟁구도 변화의 시기가 달라질 것이다.

주요 마이크로 연료전지 전문업체는 MTI MicroFuel Cells, Medis Technologies, Manhattan Scientifics 등이 있으며, 모토로라, 소니, NEC, 삼성전자, 도시바, 혼다, 카시오 등 주요 통신기기 및 가전업체들도 연료전지를 개발하고 있다. MTI는 이동전화기용 DMFC를 개발하고 있으며, Medis Technologies는 이동전화 충전기용 AFC를 개발하고 있다.

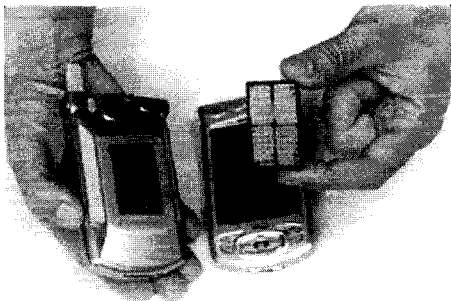


그림 8. MTI사의 micro fuel cell.

Manhattan Scientifics는 이동전화, 노트북 PC, 캠코더, 진공청소기 등에 채택할 수 있는 DMFC를 개발하고 있다. PolyFuel은 가전제품용 DMFC 개발을 추진하고 있으며, Fraunhofer ISE는 PEMFC를 개발 중에 있다. 이들 업체는 대부분 2004년까지 마이크로 연료전지를 상용화할 예정이다. 특히, NEC, 도시바,

Smart Fuel Cell 등은 올해 중에 연료전지를 탑재한 노트북 신제품을 출시할 예정이다.

일본 후지쓰(富士通) 연구소는 30%의 고농도 메탄올 연료를 사용할 수 있는 연료전지의 재료 기술 개발에 성공했다고 발표했다. 후지쓰 연구소는 고농도의 연료를 이용함으로써 연료 펌프와 송기 팬 등을 이용하지 않는 소형 경량화에 적절한 피동(passive)형 마이크로 연료전지의 대용량화를 도모할 수 있다고 밝혔다. 이 연구소는 이 기술을 이용해 휴대 기기의 원형(prototype) 시스템도 개발하고 있다.

휴대 기기에 이용하기 위한 마이크로 연료전지는 현재 주로 사용되고 있는 리튬 이온 배터리에 비해 중량당 5배에서 10배가 많은 에너지를 저장할 수 있어 휴대 기기를 장시간 사용하는데 적합한 차세대 전지로서 주목을 받고 있다. 그러나 고농도의 연료를 사용할 경우 발전 중에 연료가 고갈되면 발전 용량이 저하되거나 메탄올과 공기의 부반응에 의해 생산되는 전력이 현저하게 저하된다는 문제가 있어 저농도의 연료를 이용하지 않을 수 없었고, 또한 이에 따라 경량화가 어려웠다. 이는 메탄올 교차(crossover)라고 하는 현상으로 연료의 메탄올 분자가 전해질 재료를 투과함에 따라 발생하는 것인데, 특히 종래 고정 전해질 재료에서 사용된 불소 수지계의 재료에서 현저하게 나타났었다.

이번에 개발된 기술은 메탄올 교차를 저감시키는 재료 기술이다. 후지쓰 연구소는 메탄올 투과 속도가 낮은 방향족 탄화수소계의 고체 전해질 재료의 표면에 고풍성인 백금계 나노 입자 촉매를 고밀도로 고정시킨 전극 촉매층을 형성함으로써 메탄올 교차를 1/10 정도로 저감시켰다.

이에 따라 종래에 사용이 어려웠던 30% 농도의 메탄올 연료의 사용이 가능해져 중량 당 고용량화가 가능해졌다. 두께 15mm의 박판 연료전지 시스템으로 15와트급의 고출력이 실현됐다. 30% 농도의 메탄올 연료 300밀리리터로 노트북 PC는 8~10시간 구동할 수 있다.

후지쓰는 새로운 방향족 계통의 재료가 양산화되면 비용 면에서 종래의 불소계와 동일한 수준이 될 것으로 보고 있다. 후지쓰는 앞으로 실용화를 위해

내구성 시험 등을 실시해 2005년도 이후에 상품화시킬 예정이며 불소계의 전해질을 사용한 연료전지는 배제하고, 방향족계의 연료전지를 주로 상품화시켜 나갈 계획이다.

지금까지 휴대용 소형전원으로서 마이크로 연료전지에 대한 기술적 이슈들을 살펴보고, 이제부터는 국내외에서 치열하게 진행되고 있는 기술개발 현황에 대해 알아보겠다. 기존 배터리에 비해 높은 에너지 밀도를 가질 수 있다는 점 때문에 마이크로 연료전지의 상업화가 이루어진다면 매우 큰 시장을 형성할 수 있을 것으로 전망되고 있으며, 따라서 세계 유수의 대기업들과의 수많은 벤처기업들이 기술개발 경쟁에 합류하고 있다.

마이크로 DMFC 개발에 가장 먼저 뛰어든 업체는 Manhattan Scientifics, Inc.로서, 휴대전화의 충전기로 사용할 수 있는 Power Holster™ 시작품을 개발하였으며, 일본의 Mihama사와 합작으로 1W급 휴대폰 충전기를 상업화하기 위한 협정을 체결하였다. 또한, 세계적인 휴대폰 제조회사인 Motorola는 일찍부터 로스알라모스 국립연구소와 공동으로 휴대용 DMFC 개발에 착수하였으며, 앞의 그림 6과 같은 DMFC팩을 수 년 내에 상업화하기 위해 개발에 박차를 가하고 있다. 또한, 미국의 벤처회사 Polyfuel, Inc는 고성능 DMFC스택을 개발하여 휴대폰을 시연하는데 성공하였으며, 수백만불에 달하는 투자를 유치하여 상업화를 추진하고 있는 것으로 알려져 있다. 또한, 나피온 전해질 막 제조회사인 듀폰은 연료전지 전문회사인 H-Power와 공동으로 DMFC의 상업화를 추진하고 있으며 최근에는 (2001년 12월) Univ. of Southern Calif.와 Jet Propulsion Lab. 이 합작하여 DMFCC (Direct Methanol Fuel Cell Corporation)라는 회사를 설립하고 중소형의 DMFC 상용화에 착수하였다. 이외에, 일본과 유럽 등지에서도 많은 기업들이 휴대용 연료전지 개발에 참여하고 있다.

최근 들어 괄목할만한 사실은 일본 업체들이 휴대용 연료전지 부분에서 상당한 수준의 개발 성과를 발표하고 있는 점이다. 2001년 8월 NEC와 SONY에서 그 동안의 연구결과를 발표하였다. 일본 최대의 휴대전화 생산업체인 NEC는 카본나노튜브로 촉매

를 제조하여 고출력의 연료전지를 개발하였다고 발표하였으며, 소니에서도 Fullerence (C60)을 전해질(gas-permeable electrolyte)로 사용하여 고성능 연료전지를 개발하였다고 발표하였다. 플러렌을 전해질로 사용하면 물이 없어도 사용할 수 있기 때문에 영하 20℃의 저온에서도 작동이 가능하고, 운전 시작 시간(start-up time)이 매우 짧은 (1~2초)장점이 있다고 주장하여 향후 연구결과가 주목된다고 하겠다. 한편, 2002년 1월에는 도시바에서 휴대용 DMFC로 작동되는 PDA 시연회를 가진 바가 있다.

한편, 마이크로 PEMFC를 휴대용으로 개발하기 위한 연구는 Fraunhofer, ISE, 카시오 등에서 일부 이루어지고 있으나, 수소를 공급하는 마이크로 개질기 개발 문제 때문에 큰 진전은 아직 없는 상태이다. Chemical hydride를 수소 공급원으로 하여 PEMFC를 구동하려는 시도로는 Millenium Cell 사의 NaBH₄를 수소원으로 한 PEMFC자동차 개발과 Manhattan Scientifics, Inc. 의 휴대용 충전기 개발이 대표적이라 알려져 있다. 그러나 NaBH₄는 반응속도 조절이나 부식성, 인체 유해성 등의 면에 있어서 아직도 해결해야 할 점이 많기 때문에 휴대용 마이크로 연료전지에 활용하기 위해서는 좀 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.

5. 결론

현재까지 마이크로 연료전지는 가격, 안전성, 소형화 등의 측면에서 2차전지와 확연한 경쟁력 격차를 보이는 것이 사실이다. 그러나 노트북 컴퓨터의 예에서 보듯이 최근의 기술발전 속도를 고려한다면 이러한 경쟁력 격차는 2~3년 내에 해결될 것으로 기대된다. 특히 소형화에 적합한 것으로 알려진 직접메탄올형(DMFC) 기술의 급속한 발전은 마이크로 연료전지의 채용 전망을 한층 밝게 해주고 있다. NEC 등 많은 기업들은 신소재, 나노테크놀로지 등 첨단 기술의 적용을 통해 DMFC형 연료전지의 소형화, 고성능화는 물론 가격경쟁력 향상까지도 도모하고 있다.

휴대기기 제품의 보급률이 포화 상태로 치닫는 가운데 기업들의 신제품 개발 경쟁이 갈수록 뜨거워

지고 있다. 마이크로 연료전지가 전원 공급 시스템의 획기적 개선을 통해 IT산업에 새바람을 불러일으킬 것인지 기업들의 관심이 집중되고 있다.

참고 문헌

[1] R. Hahn, and J. Muller, Proceedings of the International Congress Electronics Goes Green on Future Power Supplies for Portable Electronics and Their Environmental Issues, (EGG2000), Berlin, Germany, 11-13 September 2000, pp. 727-734.

[2] M.A. Miller, MEMS Manufacturing Technologies as Applied to the Development of Embedded Micro Fuel-Cells, NCMS Fall Workshop Series, NCMS, Dearborn, MI, 1999.

[3] G. McLean, N. Djilali, M. Whale, and T. Niet, Proceedings of the 10th Canadian Hydrogen Conference on Application of Micro-Scale Techniques to Fuel Cell Systems Design, 17-20 May 2000.

[4] J.P. Meyers, and H.L. Maynard, Design considerations for miniaturized PEM fuel cells, J. Power Sources Vol. 109, p.76, 2002.

[5] S.-J. Lee, S.-W. Cha, Y. Liu, R. O'Hayre, and F.B. Prinz, Proceedings of the Electrochemical Society on High Power-Density Polymer-Electrolyte Fuel Cells by Microfabrication, Spring 2000.

[6] K.-B. Min, S. Tanaka, and M. Esashi, Silicon-Based Micro-Polymer Electrolyte Fuel Cells, 0-7803-7744-3/03 2003 IEEE, 2003.

[7] C. Nayoze, A. Martinent, J. Arroyo, C. Roux, J.Y. Laurent, and D. Marsacq, New progress of MEMS fuel cells development, in: Proceedings of the Knowledge Foundation's 5th Annual International Symposium on Small Fuel Cells, New Orleans, LA, USA, 7-9 May 2003.

[8] D.-S. Meng, J. Kim, and C.-J. Kim, A Distributed Gas Breather for Micro Direct Methanol Fuel Cell (m-DMFC), 0-7803-7744-3/03 2003 IEEE, 2003.

[9] Y.H. Seo, and Y.-H. Cho, A Miniature Direct Methanol Fuel Cell Using Platinum Sputtered Microcolumn Electrodes With Limited Amount of Fuel, 0-7803-7744-3/03 2003 IEEE, 2003.

[10] K. Stanley, Micro fluidic effects for fuel cells, in: Proceedings of the Knowledge Foundation's 5th Annual International Symposium on Small Fuel Cells, New Orleans, LA, USA, 7-9 May 2003.

[11] R.G. Hockaday, Small diffusion driven fuel cells, in: Proceedings of the Knowledge Foundation's 5th Annual International Symposium on Small Fuel Cells, New Orleans, LA, USA, 7-9 May 2003.

저자약력



성명 : 박수길

◆ 학력

- 1979년 한양대 고분자공학과 공학사
- 1981년 한양대 공업화학과 공학석사
- 1983년 동경공대 전자화학과 공학석사
- 1986년 동경공대 전자화학과 공학박사

◆ 경력

- 1987년 ~ 1989년 뉴욕주립대학교 Post Doc.
- 1990년 ~ 1991년 원자력연구원 선임연구원
- 1991년 ~ 현재 충북대 공업화학과 교수