

# 모바일기기용 마이크로 연료전지 개발 동향

장재혁 | 삼성전기

## 1. 마이크로 연료전지 개요

현대의 정보 통신 사회에서는 반도체 기술과 통신 기술의 급속한 발전과 더불어 휴대용 전자 기기인 휴대전화, 휴대정보단말기 (PDA), DMB폰, 캠코더, 디지털 카메라, MP3 등이 소형화 기술의 지속적인 향상으로 대량으로 보급됨으로써 일상 생활에서 없어서는 안 될 필수품이 되었다. 휴대전화 (cellular phone)는 전화 기능 이외에 디지털 카메라, MP3 Player, 전자사전, Internet 검색 등 다양한 서비스 기능이 추가되고 있으며, 최근에는 휴대전화에 무선 디지털방송 수신 기능이 추가된 DMB(Digital Multimedia Broadcasting) 폰이 출시되고 있다 (그림 1).



그림 1. 휴대용 모바일 기기인 DMB 폰

위의 DMB폰은 국내 S-사에서 최근 출시한 제품으로 크기가 94.4(L)×48.3(W)×29(H)mm이고 무게는 약 144g(표준형)이다. 이 제품은 전화, MP3, 모바일 프린팅, 조명등, 텔레메틱스, VOD, 위성 DMB, 모바일 बैं킹, 전자사전 등의 다양한 기능이 가능하고, 이 제품을 작동하기 위한 배터리 사양과 주요 성능은 표 1과 같다.

표 1. DMB폰에 사용되는 배터리의 사양과 주요 성능

배터리	용량(4.7V)	충전시간	작동 시간	
			통화시	통화 대기시
표준형	1000mAh	약 180분	약 180분	약 90 ~ 250시간
대용량	1300mAh	약 210분	약 210분	약 115 ~ 330시간

이러한 제품에서 전화 기능 이외의 다양한 기능을 효과적으로 이용하기에는 현재 사용되고 있는 배터리로는 작동 시간(약 180분)이 한정되고 또한 배터리의 충전에 장시간(약 180분)이 요구된다는 단점들이 있으므로, 고출력이 장시간 연속적으로 사용이 가능하도록 하는 새로운 전원 공급장치가 필요하다. 현재로는 모두 2차전지를 전원으로 사용하고 있으나 현재의 기술적 상황에서 리튬이온 2차전지 기술은 완성도가 이론적 한계치에 근접하여 휴대 에너지원은 기술적으로 포화되었다고 말할 수 있다. 최근 차세대 휴대용 에너지원 중에서 마이크로 연료전지(micro fuel cell)가 신 에너지원으로 각광받고 있다. 21세기 정보화 사회로 변화함에 따라 연료전지를 휴대단말기의 전원과 휴대용 고밀도, 고출력의 에너지 저장 시스템에 사용하기 위해서 연구개발이 진행되고 있는데 이를 마이크로 연료전지라고 한다.

초소형 연료전지에서는 대부분 직접메탄올 연료전지(Direct Methanol Fuel Cell, DMFC) 방식을 채택하고 있다. DMFC는 액체인 메탄올을 연료로 직접 사용하기 때문에 시스템과 작동이 간단하여 소형화가 가능하고 연료 교체가 편리하여 소형 전원으로 많이 개발되고 있다. 또한 DMFC 시스템은 수소를 사용하는 연료전지에 비하여 주변 장치(BOP)가 줄어들어 시스템의 중량을 상당히 감소시킬 수 있다.

반면에 DMFC의 문제점은 액체를 연료로 사용하기 때문에 연료극(anode)에서의 반응이 수소를 사용하는 경우보다 느리다는 것이다. 수소의 산화는 비교적 쉽게 일어나지만 메탄올의 산화반응은 복잡한 중간 단계를 거치고 반응 속도가 느려서 수소를 사용하는 경우보다 연료전지의 출력이 낮게 된다. 전해질 막으로는 수소이온 전도성 고분자막을 주로 사용하는데 메탄올이 고분자막에 쉽게 흡수되어 공기극(cathode)으로 넘어가서 반응하게 되어 연료전지의 성능을 저하시킨다. 따라서 DMFC 시스템은 수 W에서 수백 W의 출력을 요구하는 응용분야, 즉 핸드폰, 캠코더, 노트북컴퓨터 등이 적합한 용도가 될 것이다.

휴대용 전자기기에 초소형 연료전지, 즉 마이크로 연료전지를 휴대기기용 에너지원으로 사용하기 위한 최초의 발명은 미국의 로스알라모스 연구원이었던 R. Hockaday의 마이크로 셀에 관한 특허라고 할 수 있다. 그림 2에는 2000년까지의 마이크로형 연료전지 개발 이력을 연대별로 나타내었다.

DMFC 시스템 개발과 상용화를 위해서 고출력화, 신뢰성과 가격 경쟁력 확보 등을 위한 연구개발을 국내외에서 활발하게 진행하고 있다. 최근에 와서는 또한 수백 W~수kW 급의 이동수단용, 휴대용 전원으로 응용하려는 연구개발도 이루어지고 있다.

표 2에서 알 수 있는 바와 같이 현재는 대부분의 개발사가 DMFC를 타겟으로하고 있다.

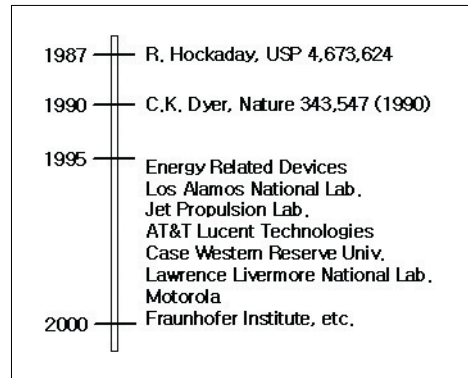


그림 2. 2000년까지의 마이크로 연료전지관련 연구개발 이력

## 2. 발전원리 및 응용 분야

DMFC의 단위전지는 고분자전해질을 중심으로 하여 연료극과 공기극으로 구성된다. 단위전지에서 일어나는 반응은 그림 3과 같으며, 연료극에서는 물과 메탄올이 반응하여 이산화탄소와 6개의 수소이온, 6개의 전자가 발생

표 2. 마이크로 연료전지의 시장 투입

Company	Market	Type	Prototype Release
Casio	Note PC	$\mu$ -Reformer	2005
Manhattan Scientific	Cell phone charger	DMFC	2004
Masterflex AG	Portable electronics	H <sub>2</sub>	2004
Medis Technology	Charger	DMFC	2003
Motorla	Charger	DMFC	2004 ~ 05
MTI Micro Fuel Cells	Cell phone, PDA, Note PC	DMFC	2004
Neah Power	0.5 - 40W	DMFC	2004 ~ 05
NEC	Cell phone	DMFC	2003 ~ 05
Polyfuel	Portable electronics	DMFC	2005
Samsung	2 - 40W, Cell phone, PDA, Note PC	DMFC	2003
Smart Fuel Cell	Camera, Note PC, Camping	DMFC	2003
Toshiba	PDA, Note PC	DMFC	2003 ~ 05

하고 연료극에서는 전해질 막을 통하여 이동되어온 수소이온과 외부회로를 통하여 이동되어온 전자가 산소를 환원시켜 물이 된다.

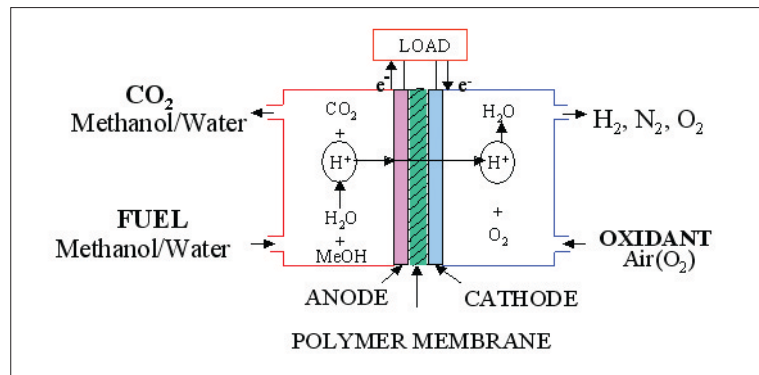
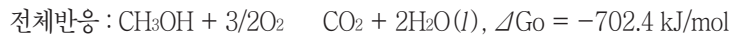
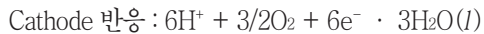


그림 3. 직접메탄올 연료전지의 발전원리



이때 표준 기전력은 다음과 같다.

$U_0 = - \Delta G_0 / 6F = 1.21\text{V}$

전체 반응식에서 엔탈피 변화는  $\Delta H = -726.5 \text{ kJ/mol}$ 이다. 이것을 화학에너지라고 생각하면 화학에너지를 전기에너지로 변환하는 DMFC의 효율( $\eta$ )은 다음과 같다.

$$\eta = -\Delta G_0 / \Delta H_0 = 0.97$$

즉, 이론적으로는 메탄올이 가지는 화학에너지 (연소시의 엔탈피변화에 해당)의 약 97%가 전기에너지로 변환되는 것을 알 수 있다.

메탄올 1몰(약 32g)로부터 얻어지는 전기에너지는 자유에너지 변화와 같고, 702.4 kJ의 값은 702.4 kWh 즉 195.1 Wh에 해당한다. 이는 1W 급 휴대전화에 사용하는 경우 약 200시간의 연속통화가 가능한 출력이다. 1회 충전으로 연속통화 160분 가능한 리튬이온충전지와 비교하면 메탄올 4.4 g이면 100분의 연속통화가 가능하다. 물론 이것은 이론치이고, 반응에는 메탄올 외에도 물이 필요하고 연료전지의 효율과 연료이용률 등을 고려하면 실제 시스템에서는 수배의 메탄올이 필요하다.

수백 W ~ 수 KW급 이상의 이동용 및 정지형 DMFC 시스템은 가정용 비상전원, 레저 또는 스포츠용 이동용 전원, 태양열대체 감시기 및 신호기, 소형 수송용 전원(스쿠터) 등으로 응용이 가능하고, 수 W - 수십 W급의 마이크로 DMFC 시스템은 일반 소비자용으로 휴대용 전자기기 전원(휴대폰, PDA, Note PC, DMB폰) 등 그리고 군용으로 유무선 통신기 전원, 군작전용 이동용 전원(개인 병사용 휴대 전원, 3Day 전투), 군사용 배터리 대체(KNN/PRC-77, PRC-99K/VRC-946K 등 무선 장비), 군사장비 충전 전원으로 활용이 가능하다.

### 3. 관련 기술의 국내 · 외 현황

#### 1) 국내의 경우

국내의 DMFC 개발은 1994년 한국에너지기술연구원이 국책연구기관의 고유사업으로 연구를 시작한 것이 효시이다. 이때에는 DMFC를 이동용 전원에 사용할 목적으로 연구가 진행 되었으며(200W급 미만), 촉매와 분리막에 대한 기초 연구와 시스템에 대한 연구를 주로 수행하였다. DMFC를 IT 및 휴대용 전원(20-50W급)으로 사용하기 위한 연구는 2~3년 전부터 본격화되기 시작하였으며 현재는 삼성종합기술원, 삼성 SDI, LG화학, 협진, SK 등의 기업들과 KIER, KIST 등의 연구소와 여러 대학에서 촉매, 전극, 분리막 등의 요소기술개발과 노트북 PC용 DMFC 시스템 개발에 주력하고 있다. 국내의 노트북 PC용 전원(20-50W급)과 전자기기용 전원(100-200W급) 분야의 연구 성과로는 삼성종합기술원, 삼성 SDI, LG 화학이 각각 2004년과 2005년에 개발한 노트북 PC용



(a)



(b)

그림 4. 삼성종합기술원이 개발한 DMB폰용 충전기(a)와 PDA용 Hybrid 전원(b)

DMFC 시스템이 있다. 그 외 KIER, KIST 등의 출연연구기관에서도 연구 결과가 계속 이루어지고 있다.

삼성종합기술원(SAIT)에서는 1997년부터 휴대용 연료전지 개발을 시작하여 1998년에 이미 Note PC용 40W급 PEMFC stack을 개발하여 Laptop computer와 연계한 시스템을 시연하였다. 또한 휴대폰용 DMFC 분야에서도 1.5W급의 DMB폰용 충전기(그림 4(a))와 PDA용 Hybrid 전원(그림 4(b))을 2005년에 개발하였다.

삼성전기에서는 PCB나 LTCC(Low Temperature Cofired Ceramics)와 같은 다층기판 기술과 MEMS 기술을 이용하여 monopolarplate, 초소형 pump 등을 개발하고 있다. 휴대폰용 연료전지와 같이 아주 소형의 device의 경우 기존의 방식으로는 단위 부품의 부피가 크기 때문에 단순 조합으로 시스템을 구성하면 전체 부피가 너무 커서 휴대전화 등의 용도를 만족시키기 어렵게 된다. 따라서 마이크로 packaging 기술 등을 이용하여 적층이 가능하다든지 내장이 가능한 형태의 초소형 부품들을 통하여 전체 시스템의 부피를 최소화 해야 한다. 삼성전기에서는 현재 2~5W급 휴대폰용 연료전지에 사용할 3 cc 이하의 reformer와 15 cc 이하의 monopolarplate 형태의 stack을 개발하고 있다.

2005년 11월에는 삼성 SDI가 세계 최고 에너지 밀도의 노트 PC용 DMFC를 개발했다고 밝혔다(그림 5). 이 제품의 DMFC 시스템은 크기가 가로 23cm · 세로 8.2cm · 높이 5.3cm (부피 0.99l)이고 평균출력과 최대 출력은 각각 20W와 50W이며, 에너지 밀도가 200Wh/l로 현재까지 개발된 연료전지 중 가장 높으며 200cc의 연료로 Note PC를 15시간 구동 할 수 있다.

LG 화학도 노트북용 연료전지를 개발하고 있는데 2005년에 개발한 노트북용 DMFC 시스템은 출력이 25W이고 중량이 1kg 이하이며, 200cc 연료 카트리지로 10시간 이상 작동이 가능하다고 발표하였다.



그림 5. 삼성 SDI가 개발한 Note PC용 DMFC 시스템

## 2) 국외의 경우

DMFC는 1960년대와 1970년대에 Shell과 Exxon-Alsthom사가 각각 황산과 알칼리 전해질을 이용하여 개발하였으나 느린 메탄올 산화반응 속도와 연료인 메탄올의 투과(crossover) 문제로 인하여 스택 성능 향상이 어려워 큰 진전을 보지 못하였다. 1990년대 초부터 고체 고분자 전해질막 (Polymer electrolyte membrane, PEM)을 DMFC용 전해질로 사용하면서 DMFC의 개발은 새로운 전환점을 맞이하였다. 고체 고분자 전해질막을 이용하면 액체 전해질을 사용하던 시스템에 비하여 운전온도를 상승시킬 수 있기 때문에 메탄올의 산화시 생성되는 부반응에 의한 백금 촉매의 활성저하를 방지하고 메탄올의 산화반응속도가 증가되며, 메탄올의 투과(crossover)가 적어서 성능 향상이 가능하였다.

미국에서는 1990년대 초 JPL, Giner사 등에서 DMFC를 이동전원 및 국방장비의 1차 및 2차전지 대체용으로 개발하기 시작하였다. 미국 및 유럽의 DMFC 기술개발 현황을 표 3에 정리하였다.

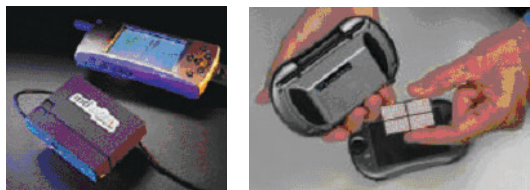
1~5W급의 휴대용 소형 전자기기에 사용하기 위한 마이크로 DMFC의 시제품이 2000년대에 들어서면서 Toshiba, Hitachi, NEC 등 일본의 대부분의 전자업체들을 중심으로 계속해서 발표되고 있다. 휴대용 마이크로 연료전지 시스템으로는 메탄올의 고에너지 밀도와 저장 용이성 및 전체 시스템의 간편함 등으로 인하여 액체인 메탄올을 연료로 사용하는 DMFC가 가장 활발히 개발되고 있다.

표 3. 미국 및 유럽의 DMFC 개발 현황

국가	개발기관	용량	용도
미국, 캐나다	Jet Propulsion Lab.	수W ~ 1kW	배터리대체 독립전원
	Ballard	3kW	1인용 승용차
	Giner Co.	500W ~ 150W	배터리대체 독립전원
	Manhattan scientifics	수W 미만	휴대폰 전원, 충전기
	Motorola	수W 미만	휴대용 전원
	MTI	수W ~ 수십W	휴대용, 군용 전원
	Polyfuel	수W	휴대용 전원
	Vectrix	800W	스쿠터용 전원 개발
	Los Alamos National Lab.	수W ~ 수십W	군용, 휴대용 전원
독일	Smart fuel cell	수W ~ 수십W	휴대용, 군용 전원
	Research Centre Juelich	수백W ~ 수kW	스쿠터, 지게차 전원
	Daimler-Chrysler	3kW	1인용 승용차 전원
	TUHH, MST	수W	휴대용 전원(박막기술 이용)
	Fraunhofer IZM	수W ~ 수십W	휴대용 전원(미세가공기술)
영국	Johnson Matthey		촉매, MEA 개발
	Newcastle Univ.		단위전지, 촉매개발
이탈리아	CNR-TAE		소형 시스템개발
	DeNora	수W ~ 수kW	이동전원용
이스라엘	Medis El Ltd.	수W	전자기용 배터리 대체

미국의 MTI MicroFuel cell사는 2002년에 cell phone과 PDA용 micro fuel cell 파워팩의 시제품을 개발하였다(그림 6(a)). MTI사는 DMFC 기술을 이용한 Mobion fuel cell 기술을 이용하여 기존 배터리팩보다 출력이 2-10 배에 이르는 휴대용 마이크로 연료전지를 개발중이다. MTI의 Mobion 기술을 이용하여 생성수를 재사용하는데 펌프를 사용하지 않는 시스템을 개발중이며, 이 경우에는 부피, 중량, 비용을 줄일 수 있고 에너지밀도를 향상시킬 수 있다고 발표하였다. 2004년도에 휴대용 smart-phone이나 게임기에 사용이 가능한 마이크로 연료전지 시제품을 발표하였다(그림 6(b)). 이 회사는 Gillette/Duracell과 공동 연구개발을 진행하고 있다.

최근인 2005년도 9월에 2위의 이동통신 사업자인 KDDI는 Toshiba사, Hitachi사와 공동 개발하고 있던 휴대전화용 마이크로 직접 메탄올형 연료전지의 시제품을 발표하였으며, 2005년 10월부터 개최하는 CEATEC Japan에



(a) (b)

그림 6. MTI사의 PDA용 micro fuel cell



그림 7. KDDI가 Toshiba사(a) 및 Hitachi사(b)와 공동으로 개발한 시제품

전시했다(그림 7). Toshiba사에서 만든 제품(그림 7(a))은 기존의 휴대전화를 기반으로 99.5% 농도의 메탄올을 이용한 대용량 타입으로 내부 연료 용량은 7cc이고 1회의 충전으로 기존 배터리 대비 2.5배의 전지용량을 달성했다. 리튬 이온전지와 하이브리드(hybrid) 방식으로 300mW의 고출력 상태로 24시간 이용할 수 있다. Hitachi사에서 만든 제품(그림 7(b))은 연료는 60% 이하의 메탄올, 연료용량은 3cc, 서브 액정면에 마이크로 연료전지를 탑재해 리튬 이온전지와 하이브리드(hybrid) 방식을 채용하고 있다.

#### 4. 결 론

마이크로 DMFC는 소형 휴대기기의 전원으로 현재 가장 적합할 것으로 기대되어 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 하지만 아직 해결해야 할 기술적인 취약점이 있는데 다음과 같다.

i) 전해질로 사용되는 고분자막에서의 메탄올의 cross-over문제 때문에 생기는 성능 저하, ii) 고농도의 메탄올에도 견딜 수 있는 촉매(catalyst)와 멤브레인(membrane)에 대한 연구 성과 미진, iii) 액체인 메탄올을 반응시켜 프로톤을 발생시키는데 주도적인 역할을 하는 촉매의 활성 개선, iv) 생성된 물의 재활용을 위한 물 회수 기술 미비, 이산화탄소 배출 및 분리 기술 미비, Microchannel에서 사용될 유로 설계 경험식 부족, v) 스택 적층기술 및 시스템 종합화 기술 등이다. 긍정적인 것은 2005년 한해 동안 노트북용 연료전지는 년초 2 L의 부피에서 12월 0.4L로, 휴대폰용은 연초 200cc 이상에서 물론 발전용량은 차이가 있지만 100cc 이하로 부피를 줄였다. 이러한 급속한 소형화 기술의 진보는 일본과 우리나라에서 제품화의 원년으로 목표하고 있는 2007년도 말에는 시장에서 휴대전화용 연료전지 제품을 만날 수 있으리라는 긍정적 기대를 가능하게 하고 있다.



장 재 혁

· 삼성전기(주) 중앙연구소 eMD Lab. 수석연구원  
 · 관심분야 : 휴대용 연료전지, SOFC  
 · E-mail : jae.h.jang@samsung.com