

# 소형 이동 전원용 연료전지 시스템의 개발 현황

임성대

한국에너지기술연구원 고분자연료전지연구단(jimmyim@kier.re.kr)

## 서론

최근 수소 에너지 이용기술로서 각광을 받고 있는 연료전지는 전기화학반응에 의해 연료가 가지고 있는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 일종의 전기화학적 발전장치로서 기존의 디젤발전 혹은 증기가스 터빈 장치 등에 비해 발전효율이 높고 소음 및 유해 배기가스 등에 의한 문제점이 적으며 수소와 산소가 촉매의 존재 하에서 전기화학반응을 통하여 전기를 생산해 내기 때문에 수명이 길고 취급이 간단한 장점 등으로 인하여 다양한 분야에의 적용을 위한 연구 개발이 활발히 수행중인 기술이다. 연료전지는 수 W ~ 수백 W에 해당하는 소형 이동 전원용에서부터 1 kW ~ 수백 kW에 해당하는 가정용, 건물용 혹은 자동차용 전원 및 크기는 MW급에 해당하는 발전용 연료전지까지 다양한 분야에 적용 가능하다. 본 글에서는 경제성 확보 및 수명 측면에서 상대적으로 시장 진입이 용이하고 기존의 배터리 대체 기술로서 그 필요성이 증대되고 있는 소형 이동 전원용 연료전지에 대해서 주로 논하고자 한다.

## 본론

### 기술 개요

소형 이동 전원용 연료전지는 기존 배터리를 대체하는 수송용 동력원을 비롯하여 이동 및 비상용 전원, 현지 설치형 전원, 군사용 전원 등에의 적용을 위

하여 연구 개발이 활발히 진행 중이다. 기존의 배터리가 지니는 용량의 한계성과 충전 시 소요되는 많은 시간 및 짧은 수명 등으로 인하여 배터리를 대체할 수 있는 새로운 전원이 절실히 요구되고 있으며, 근래 들어 전자기기의 시장성이 증대되고 새로운 전자 기기들이 고기능 및 다기능화 됨으로써 이를 뒷받침할 수 있는 고출력 전원의 필요성이 절실히 요구되고 있다. 이를 위하여 세계 각국에서 배터리 대체로의 연료전지 개발에 심혈을 기울이고 있다. 군사적인 측면에서도 경량화로 인하여 군 작전 시 신속한 이동이 가능하고, 저소음 고성능화가 가능한 연료전지 기술을 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 실제 휴대용 전원으로 군수분야에서 사용 중인 무전기 등에 사용하는 배터리를 대체할 수 있기 때문에 미국 등 기술 선진국의 JPL(Jet Propulsion Laboratory), DoD(Department of Defence) 등 국방관련 연구 기관 및 IFC(International Fuel Cell), LANL(Los Alamos National Laboratory) 등 연구 기관에서 국방용으로 Li-이온 전지를 대체하기 위한 연구개발이 활발히 진행 중에 있으며 이에 대한 기술개발의 필요성이 절실히 요구되고 있다.

현재 기술의 수준으로 판단할 때, 소형 이동전원용 연료전지로는 고분자 전해질 연료전지와 직접 메탄올 연료전지가 적용 가능하다. 고분자 전해질 연료전지의 경우 높은 출력 밀도를 지니지만 컴팩트한 수소 공급이라는 기술적 난관을 가지고 있는 반면에 직접 메탄올 연료전지는 메탄올을 연료로 사용하므로 시



시스템 구성이 비교적 간단하지만 상대적으로 낮은 출력 밀도의 단점을 지니고 있다. 따라서, 두 기술이 경쟁적으로 고출력, 장수명 및 컴팩트한 시스템 구성을 통한 시장 창출을 위하여 노력 중이다. 본 글에서는 이 중 좀 더 광범위한 범위에서 적용 가능한 고분자 전해질 연료전지를 적용한 소형 이동 전원용 연료전지 시스템에 집중하여 살펴 보고자 한다.

고분자 전해질 연료전지 시스템의 개발을 위해서는 앞에서도 언급되었듯이 컴팩트한 수소 공급 시스템의 구현이 또한 중요하며 이와 관련해서는 소형 개질기를 적용한 메탄올 수용액 개질 방식, 수소저장 합금 및 수소를 발생 시킬 수 있는 화합물인 chemical hydride 이 3가지가 유력한 후보들이다. 이중 수소저장합금의 경우는 이미 기술적으로 상용화에 가까운 수준에 올라왔다. 그러나 질량기준 에너지 밀도의 측면에서 상당히 불리하며, 또한 압력이 낮기는 하지만 수 기압 이상의 기체상태의 수소를 발생시키므로 안전성의 확보문제는 단 시일에 해결하기는 쉽지 않을 것으로 전망 된다. 두 번째, chemical hydride를 이용하는 기술은 화합물 자체의 에너지 밀도는 상당히 높지만 수소를 발생시키기 위해 필요한 기타 반응 장치의 구성이 비교적 복잡하여 이를 포함한 컴팩트한 시스템 구현이 가장 큰 어려움으로 여겨지고 있다. 마지막 후보인 소형 개질기 시스템을 이용한 메탄올 수용액 개질 방식은 이론적으로 높은 에너지 밀도를 가지며 소형의 연료전지 시스템을 구성 할 수 있는 잠재력을 가지고 있지

만 이 또한 시스템 구성이 간단하지 않아 컴팩트한 시스템 구성에 대한 노력이 진행 중이다. 특히, 이를 위하여 연료로서 메탄올을 사용하고 최근에 발전한 마이크로 가공 기술을 사용하여 개질기에 마이크로 채널 반응기 구조를 적용하여 저온에서도 동작하는 초소형 개질기에 대한 연구가 다수 진행 중이다.

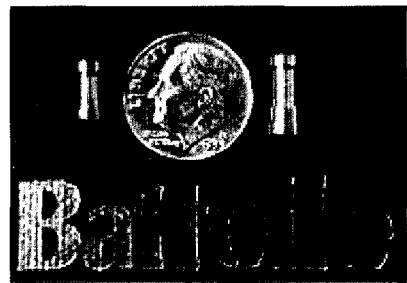
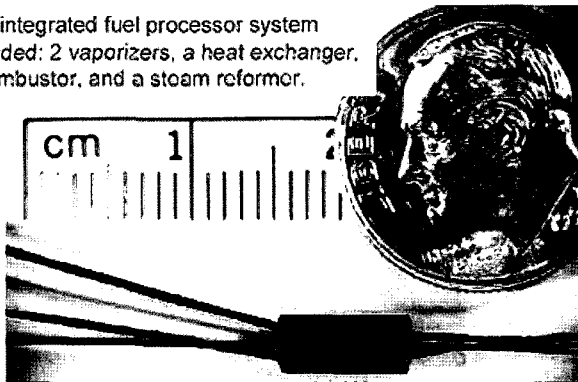
### 기술 개발 현황

실제로, 소형 이동전원용 연료전지 시스템에 대한 개발은 PNNL, Battelle, Motorola, Casio, UltraCell 등에서 선도적으로 진행하고 있으며, 이들 대부분은 메탄올 개질기와 연계된 고분자 전해질 연료전지 시스템을 구성하고 있으며, DOE에서는 2010년까지 1000 W-h/L의 에너지 밀도를 지니는 시스템 개발을 목표로 제시하고 있다.

### PNNL, Battelle

미국 국가 연구기관인 Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)과 공동 연구기관인 Battelle사는 다양한 재료를 사용한 마이크로 채널 가공 공정 연구로부터 출발하여 이를 응용할 수 있는 금속 박판 적층형 마이크로 채널 개질기 및 연료전지 스택과의 연계를 통한 시스템 구성에 관한 일을 진행하고 있다. 이들은 비교적 다양한 출력 규모의 개질기를 동시 개발 하고 있는데 15 ~ 25 W급, 수백 mW급 및 크기는 자동차 적용용 100 kW급의 마이크로 채널 개질기를 연구하고 있다(그림 1 참조). 소형 시스템

The integrated fuel processor system included: 2 vaporizers, a heat exchanger, a combustor, and a steam reformer.



[그림 1] PNNL 및 Battelle사의 1 W 이하급 초소형 개질기(좌) 및 CO 저감기(우)

의 경우 군사용 개인 전원 및 휴대용 전자장비의 전원용으로 개발하고 있다. 이들 기술의 특징은 금속 박판 적층형 방식을 사용하며 금속 접합법으로는 확산 접합을 주로 이용한다. 마이크로채널은 매우 큰 폭대 깊이비(aspect ratio)를 가지도록 하여 극단적으로 열전달 성능을 향상시킨 형태의 단위 공정개발에 주력하고 있다.

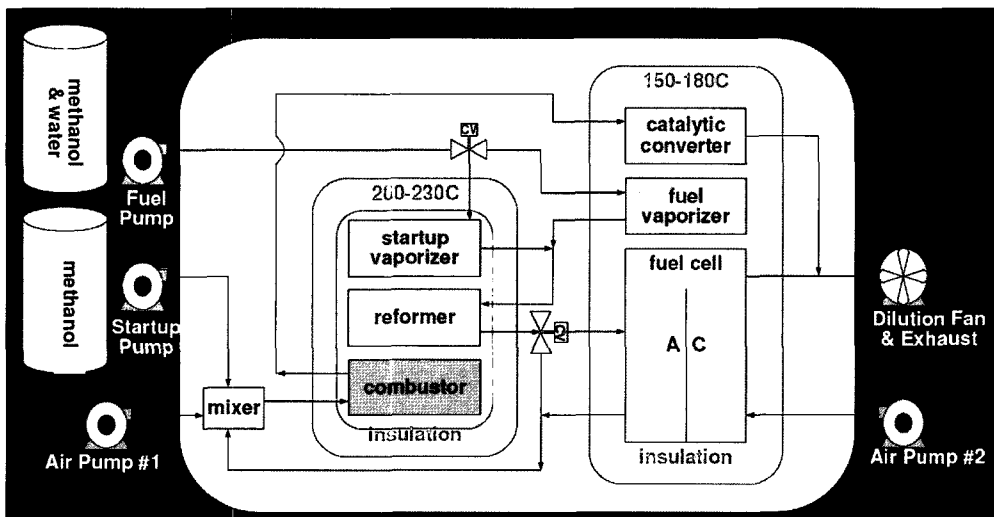
또한 이러한 채널 내부에 촉매를 코팅하여 물질전달 측면과 열전달 측면에서 반응기 성능을 향상시켜 기존 반응기로 구현하기 힘든 초소형 반응기 시스템을 개발하고 있다. 수소 공급 장치는 연료 증발기, 촉매 연소 반응기, 수증기 개질 반응기로 구성되며 단위 장치간의 열 통합을 위해 열교환기와 미사용 열을 회수하기 위한 열 보상기를 조합하여 구성된다. 메탄올 개질기용 촉매로는 촉매 내구성을 고려하여 Pd/ZnO 계열의 촉매를 적용하고 있으며 초소형 개질기에 methanation반응기를 연결하여 개질가스에 포함된 CO농도를 100 ppm 미만까지 저감시킨 것으로 보고하고 있다. 이렇게 개발된 소형 개질기 및 연료전지 스택을 연계하여 이동 전원용 연료전지 시스템 구성하였다.

MOTOROLA

미국 MOTOROLA사는 저온 세라믹 소성공정을 이

용하여 개발한 마이크로 개질기를 고온형 고분자 전해질 연료전지 스택과 연계한 그림 2와 같은 개념의 소형 연료전지 시스템을 개발 중이다. 박판간의 접합은 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) 법을 사용하며 "Integrated onboard H<sub>2</sub> generation system"의 개념으로 소형 휴대용 전자기기의 전원으로 사용될 연료전지를 위한 수소 공급 장치이다. 전체 시스템은 연료 저장 장치, 마이크로 반응기, 연료전지 스택으로 구성된다. 수증기 개질반응에 필요한 연료로 물과 메탄올이 혼합된 연료를 사용하며 액상 연료는 수증기 개질기와 촉매연소기로 각각 주입된다. 촉매연소기는 연소반응을 위해 메탄올 수용액과 함께 공기를 공급받아 발열 반응을 일으키고 발생된 열은 액상 연료의 증발, 수증기 개질반응의 반응열 공급에 사용된다. 개질 반응기에서 발생된 기체는 연료전지 스택으로 공급되어 전기를 발생시킨다. 전체 시스템의 효율 향상을 위하여 연료전지 수소극에서 미 사용된 수소와 일산화탄소는 촉매연소기로 순환되어 재활용 된다.

MOTOROLA사는 수증기 개질 반응기, 촉매 연소 반응기의 순서로 단위 장치를 개발 하고 이를 통합한 형태의 소형 반응기 시스템을 개발 하였다. 특이 점은 고온형 MEA를 사용하여 CO 문제를 해결하고자 하는 점이다. 즉, CO 저감기를 추가로 개질기에



[그림 2] MOTOROLA사의 소형 연료전지 시스템 개념도



장착하지 않는 대신에 고온형 MEA를 적용하여 연료전지 스택을 150℃ 정도의 고온에서 운전함으로써 CO에 의한 연료전지 성능 저하 문제를 해결하고자 하는 개념으로 연구를 진행 중이다.

### CASIO

일본 CASIO사는 실리콘 및 유리 가공기술을 이용한 휴대 전자기기용 연료전지에 필요한 마이크로 채널 개질기 및 연료전지 시스템을 연구하고 있다. 구리 및 팔라듐 계열의 개질촉매를 적용하고 있으며, 마이크로채널 반응기에 담지하여 반응기를 구성하였다. 마이크로반응기의 크기는 17(W)×25(L)×1.3(t) mm이며, 마이크로채널 크기는 0.6(W)×0.4(d)×333(L) mm 인 것으로 보고하고 있다. 반응기의 단열은 진공 단열 방법을 채용하고 있다. CASIO사 역시 증발기, 개질기, 촉매연소기 및 CO저감기 등으로 구성되는 단위 반응기들을 3차원적으로 적층하여 통합 개질 반응기를 구성하였다.

연료전지 스택은 일반적인 저온형 고분자 전해질 연료전지 스택을 적용하고 있으며 다만 특이한 점은 금속 분리판을 사용하여 스택의 부피를 최소화하고 있는 점이다. 실제로 소형 개질기, 연료전지 스택 및 각종 BOP를 연계하여 그림 3에서와 같이 소형 연료전지 시스템을 구성하였으며 2007 Fuel Cell Seminar에서 소형 디지털 카메라를 구동하는 시연을 하기도 하였다. 하지만, 실제 상품화를 위해서는 고출력 및 시스템 부피의 현격화 감소가 필요하며

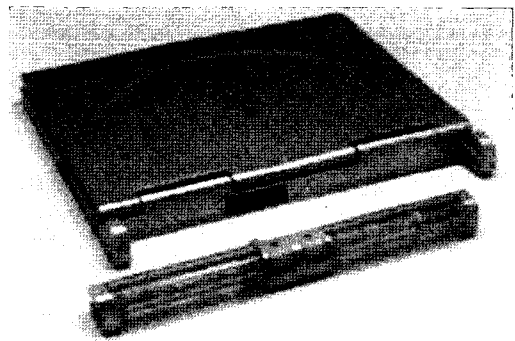
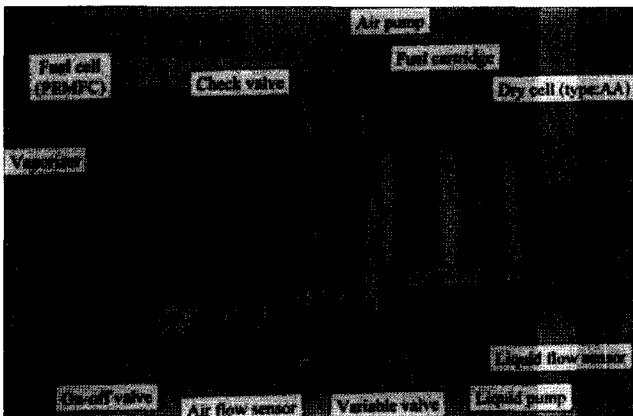
장기 운전을 통한 시스템 내구성 확보 등이 여전히 기술적 과제로 남아 있다. CASIO사는 소형 노트북 컴퓨터에 적용하기 위한 10 W급 연료전지 시스템 개발을 목표로 하고 있다(그림 3 참조).

### UltraCell

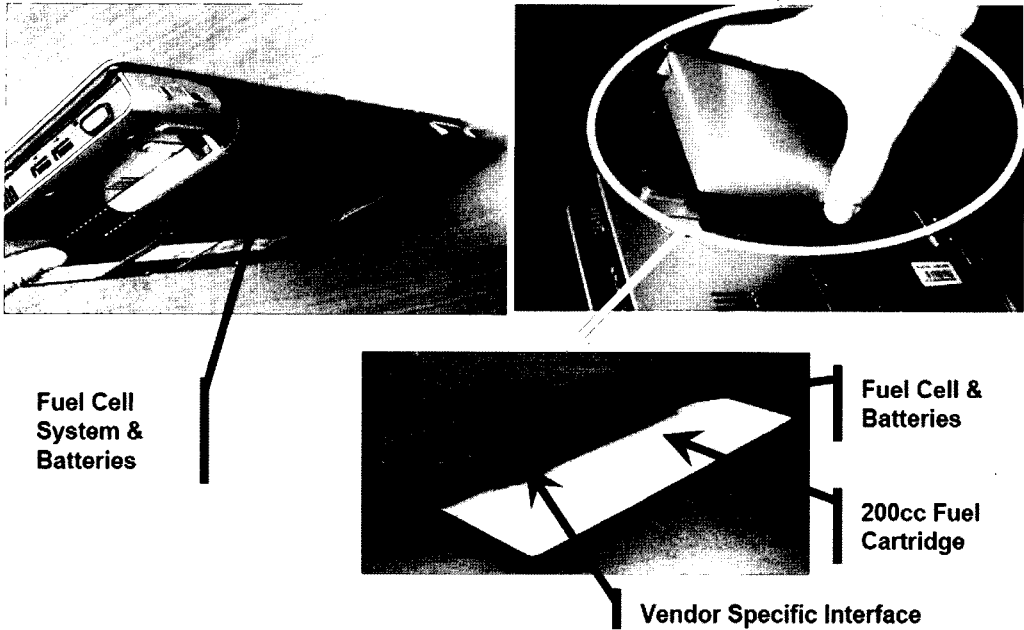
UltraCell사는 미국의 국방성 프로그램의 일환으로 군용 목적의 소형 연료전지 시스템을 개발하고 있다(그림 4 참조). 20 W급의 고온형 고분자 전해질 연료전지 시스템을 개발하고 있으며, 수소 공급 장치로는 메탄올 개질기를 적용하고 있다. 이들 또한 기존의 군수용에서 사용되어온 축전지를 대체하고자 하는 목적으로 연료전지 시스템을 개발하고 있으며 실제로 연료전지-배터리 하이브리드 제어 및 연료전지 시스템의 열 제어를 위한 구체적인 방안들을 제시하고 있다. 현재 이들이 개발하고 있는 연료전지 시스템은 대략 180 Wh의 전력량과 300 Wh/kg의 에너지밀도를 지니는 것으로 보고되고 있다. 1.5 L의 시스템 부피에서 25 W의 정격 전력 생산이 가능하며, 메탄올 수용액을 연료로 사용하고 있다. 실제 이들이 제시하고 있는 차세대 연료전지 시스템은 그림 4와 같이 연료전지와 배터리가 같이 사용되는 하이브리드 형태이다.

### 결론

소형 이동 전원용 연료전지는 기존의 배터리를 대



[그림 3] CASIO사의 소형 연료전지 시스템 개념도



[그림 4] UltraCell사의 차세대 소형 연료전지 시스템

체할 수 있는 유망한 발전 장치로서 PNNL, MOTO ROLA, CASIO, UltraCell 등을 선두로 여러 해외 가 전 업체들 및 연료전지 회사들이 활발히 연구 개발 중이다. 이들 연료전지 개발사들은 점점 고성능, 다 기능화되고 있는 휴대폰 및 노트북PC와 같은 소형 가전제품들, 비상 발전용 전원 및 군용 이동 전원 등 을 목표로 소형 연료전지 개발을 수행하고 있으며, 여전히 기술적 난관으로 인식되고 있는 출력향상, 시스템 부피 저감, 장기 운전을 통한 신뢰성 확보 및 기존 배터리와 경쟁 가능한 경제성 확보 등을 목표로 소형 연료전지 시장을 겨냥하고 있다.

### 참고문헌

1. J.D. Holladay, E.O. Jones, R.A. Dagle, G.G. Xia, C.Cao, Y. Wang, J. Power Sources, 131 (2004) 69.
2. Casio Computer, in: Fuel Cell Seminar, Honolulu, Hawaii, (2006).
3. A.M. Fisher, in: Fuel Cell Seminar, Palm Springs, CA, (2005).
4. D. Edlund, in: Fuel Cell Seminar, Palm Springs, CA, (2005). (\*)