

## 100 W급 직접메탄올연료전지 개발현황 및 전망

김혁년, 문고영, 정하철, 박경일, 송성민, 이상현

LG화학기술연구원

### Developmental Status of a 100 W Range DMFC system and the Prospect

Hyuk-Nyun Kim, Go Young Moon, Hachull Chung,

Gyong Il Park, Seong Min Song, Sanghyun Lee

LG Chem, Ltd./Research Park

#### 1. DMFC시스템 개발 개요

연료전지의 실용화 시기는 2005년 이내로 전망되어 왔으며, 최근 시작품을 비롯한 팔목상대할 많은 연구 결과와 함께 미국, 일본 및 유럽에서 21세기 유망기술 및 신사업 영역으로 자리잡고 있다. 특히 이동형 전원으로의 직접메탄올 연료전지의 실용화는 기술 개발이 가속화되고 있어 가장 먼저 실용화가 될 것으로 전망된다.

휴대용 연료전지의 실용화를 위해서는 점차적으로 응용분야를 개발하고, 다양한 형태의 시작품들을 제작하여 성능시험을 거쳐야 하며, 각 응용분야에서의 문제점을 파악하고 그 해결방안을 마련해야 한다. 최근 미국, 유럽 및 일본에서 IT분야의 고효율, 고용량 전원에 대한 필요성에 맞추어 Notebook PC용 전원에 대한 20 W급 DMFC 시작품이 개발 중으로, 2003년 3월 일본 Toshiba사에서 시작품을 공개한 바 있다. 독일의 Smart Fuel Cell사는 2002년도에 40W급 DMFC 시작품을 개발하여 상품화를 진행중이며, 미국의 Giner사가 2002년 150W 시스템을 군사용 전원으로 개발하였다.

국내에서는 1994년부터 KIER에서 연구를 시작하여 180W급 스택이 제작되었고, 선진 각국의 DMFC 전원에 대한 개발이 본격화되기 시작한 1998년 이후 KIST(1998), 삼성중기원(1999), (주)SK(1999), LG화학(2000)에서 상업화 연구가 진행되고 있다. 2001년 2월부터 3년간 진행 될 “100W급 DMFC 개발”은 가전제품의 독립 전원 개발을 목표로 LG화학/LG전자/KIER/KIST/서울대등이 참여하여 진행되고 있다.

100 W급 DMFC시스템개발은 2004년까지 상용화가 가능한 Proto-type 개발을 목적으로 추진되고 있는데, 이를 바탕으로 청소기를 비롯한 가전제품에 독립 전원을 채용한 신규 제품의 개발을 목적으로 하고 있다. 상용화 기반 기술의 개발 목표를 요약하면 다음과 같다.

## 가. 개발 목표

개발 목표	1단계 (2001.2- 2004.1)
용량	100 W급 bipolar형 (100 ~ 300 W)
목표 전류밀도	단위전지 출력 200 mW/cm <sup>2</sup> (0.35 V)
목표운전시간(내구성)	1,000시간
압력	상압
연료	3 M Methanol, 공기
온도	80℃

## 나. 개발대상기술 및 목표

개발대상기술	개발 목표
스택 설계/제작 및 운전 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 100 W급 DMFC 스택 개발</li> <li>- 고성능의 단위전지 : 200 mW/cm<sup>2</sup> (공기, 80℃)</li> <li>- 운전시간 : 1000 시간 이상</li> </ul>
고성능 MEA 제조 및 요소기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 개스킷 설계기술</li> <li>- 기체누출 0.02 ml/cell 이하</li> <li>● 분리막이온전도도</li> <li>- 0.08 S/cm 이상</li> </ul>
시스템 종합	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 시스템 종합 및 package</li> <li>● DC/DC 성능 90% 달성</li> <li>● 시동에서 정격 운전용이</li> <li>● 시스템 부하 추종성 수초 이내</li> </ul>

## 2. 고성능 MEA 제조 및 요소기술

### 가. MEA 제조기술

Anode는 PtRu Black Powder를 사용하여 제조하였다. 현재 단위전지와 short-stack 평가를 통하여 MEA의 성능을 판단하고 있으며 장기 신뢰성 시험 향상을 위한 연구도 병행되고 있다. Cathode는 Pt Black을 이용하나 Pt/C의 활용도 진행되고 있다. 전해질로는 Nafion 115를 사용 중이며, Methanol cross-over를 개선한 이의 개량체에 대해서도 연구하고 있다. MEA 제조는 기존의 screen printing을 포함하여 전극과 전해질의 접합체인 MEA의 성능을 결정하는 3상 계면의 면적을 최대로 하면서도 그 접합이 견고하고, 접합 계면에서의 접촉 저항을 최소화하는 방향으로 제작 공정이 연구되고 있다. MEA제조 공정은 양산성을 고려한 환경 친

화적인 방식으로 개발되어야 할 것이다.

나. MEA 장기 신뢰성 시험

MEA 장기 신뢰성 향상을 위하여 구성요소 중 binder역할의 Nafion 량의 최적화로 사용 중 촉매의 이탈을 방지하여야 하며, 촉매의 활성을 지속적으로 유지하기 위한 촉매 자체의 내구성 향상 방안을 도출하여야 한다. 사용 시의 열 발생에 기인한 MEA의 열적 팽창 및 membrane의 수화에 의한 팽창등과 같이 수축/팽창에 의한 변형을 최소화 할 수 있는 MEA의 보존 및 유지 방법과 치수안정제의 첨가를 통해 내구성의 확보를 진행하고 있다. 단위 전지의 1,000시간이상 장기 운전을 목표로 현재 진행 중이며, 이를 통해 MEA, GDL 및 Gasket등의 구성요소 성능 개선을 도모할 예정이다.

3. 스택 설계/제작 및 운전 기술

가. 100 W급용 DMFC 분리판 설계 및 제작

연료전지 스택제조 시에 MEA와 더불어 또 다른 주요 부품소재인 bipolar plate 소재는 전기 전도성이 좋고 가벼우며, 치밀한 구조를 갖는 소재로 graphite 복합소재가 사용되어 왔다. 보다 compact한 스택의 설계/제작을 위해 stainless steel을 Au로 도금한 소재와 흑연 bipolar plate의 연구를 병행하였다. 또한 경제적이며 내구성이 우수한 polymer로 원하는 형상을 만든 후, 금속 (Au)을 도금한 형태로의 bipolar plate도 연구될 것이다. 표1에서 메탈과 흑연의 소재 특징을 비교하였다.

표1. 메탈 바이폴라 플레이트와 흑연 바이폴라 플레이트 비교

메탈 바이폴라 플레이트	흑연 바이폴라 플레이트
높은 전기 전도도	낮은 대량 생산성
가공 용이성 · 치밀성	느린 작업 속도
얇은판 가공 가능	고가의 장비 필요
무겁고 높은 부식성	높은 취성(가공 및 조립의 어려움)
수소 분위기 불안정성	함침공정 필요(기공제거)
표면 처리 및 귀금속 처리 필요	고중량
저가 및 경량화 어려움	

스택용 bipolar plate는 약 2.5 mm의 두께를 갖는 흑연판을 이용하여 Z-pattern 형으로 높이 1 mm, 폭 1 mm의 크기의 channel로 제작하였다. 연료의 입출구부는 고압에서도 연료가 누출되지 않게 테프론으로 특수하게 제작된 나사를 연결하여 연료의 주입 및 배출 라인과 연

결되게 하였다. 유로 pattern은 면적 이용률의 극대화와 조립 및 사용 편리성을 고려하여 다른 형태 (serpentine)도 연구 중에 있다.

#### 나. 100 W급용 스택 설계 및 제작

100 W급 스택의 제조를 위해 단계적으로 외부 매니폴드형 30 W 와 60 W급 직접메탄을 연료전지 소형 스택(6 셀)이 제작되었다. 60 W급 소형 스택은 단위전지의 전극 면적이  $128.7 \text{ cm}^2$  ( $12.5 \times 10.3 \text{ cm}$ )인 6개의 셀을 적층시켜 만든 스택으로, 스택 크기는  $12.5 \times 10.3 \times 6 \text{ cm}$ 이다.

외부 매니폴드형 소형 스택은 바이폴라 플레이트, 6 셀, 가스켓 그리고 말단 플레이트 (end plate)로 구성되고, 연료와 공기(산소)가 외부 매니폴드로 공급되는 구조로 설계 제작하였다. 외부 매니폴드형 스택은 공급된 연료가 스택의 1번 셀부터 6번 셀까지 함께 연료가 공급되며 출구 쪽의 외부 매니폴드에 연료가 모아져 스택외부로 배출되어지며 사용된 연료는 냉각시스템을 통과하여 식혀진 후 다시 메탄올 연료저장기로 공급되어지는 방식이다. 공기극의 경우에도 같은 방식으로 공기 또는 산소가 스택 내부로 공급되어진다.

외부 매니폴드형 100 W급 직접메탄올 연료전지 스택의 전극 면적은 소형 스택과 동일하게  $128.7 \text{ cm}^2$  ( $12.5 \times 10.3 \text{ cm}$ )이고, 35장이 적층되며, 바이폴라 플레이트의 크기는  $14 \times 12 \text{ cm}$ 로 제작되었다. 외부 매니폴드형 100 W급 직접메탄올 연료전지 스택의 시스템은 소형 스택의 연료와 공기 공급 및 다른 모든 시스템이 동일하게 제작되었다. 연료극에 2 M의 메탄올을 480 ml/min의 속도로서 공급하며, 공기극에 컴프레스를 통해 10, 15, 20 L/min로 공기를 공급 시에 상온/상압에서의 전기적 출력은 각각 63.2 W(9.72 V@6.5 A), 70.9 W(8.3 V@8.5A) 및 79.1 W(9.3 V@8.5A) 이다.

### 4. 시스템 종합 기술 개발

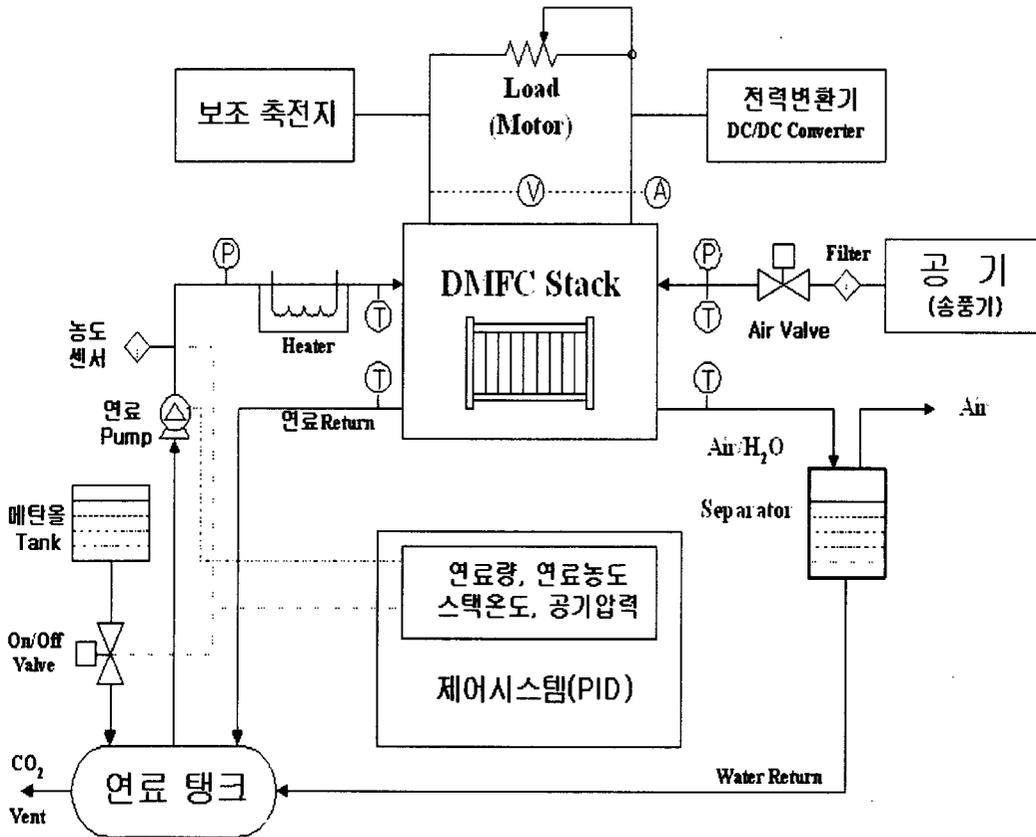
#### 가. 전력변환 장치 개발

연료전지의 효율적인 운전 및 제어를 위한 출력의 변환장치로 200 W의 전력변환부가 제작되었다. 제작된 변환부는 연료전지의 출력을 12V 직류전원이나 220V 교류전원으로 변환시켜주는 변환 효율 80%의 계전 부품이다.

주요 구성부는 정전압 회로인 Cuk Converter와 직류를 교류 350V로 변환시키는 Push-Pull Converter, 교류 350V를 안정된 교류 220V로 변환시키는 Full-Bridge Converter의 3 부분이며, system 운용을 위해 개발이 필요한 부분이다.

그림1. 100 W급 시스템 제어 계통도

나. 200 W급 청소기 P/T 개발



직접메탄올 연료전지 발전시스템의 주요 설비로는 연료전지 스택을 비롯하여, 연료 공급장치, 공기 공급장치, 시스템 제어 설비 및 전력 변환 장치 등이 포함될 수 있다 (그림 1). 시스템의 최적화를 위해서는 연료전지 스택과 같은 핵심 부품의 성능 개선은 물론 주변 시스템의 최적화 및 종합화 기술이 필요하다.

표2는 제작된 메탄올 연료전지 스택의 운전 범위를 나타내었다. 이 사양을 기준으로 시스템의 설계 및 제작을 하였으며, 각종 제어기 및 구동기의 사양 및 모델의 결정에 이용하였다. 100W급 직접 메탄올 연료전지 발전 시스템의 구성은 앞서 제작된 연료전지 스택과 연료 공급부, 공기 공급부, 시스템 제어부 및 보조 축전지를 포함한 전력 변환부로 구성된다. 시스템 제어부는 연료전지가 최적 성능을 발휘할 수 있도록 하기 위하여 각종 계기 및 센서에서 얻어진 정보에 따라 연료량, 연료 농도, 스택 온도, 연료 및 공기의 압력 등의 제어를 통해 효율적인 운전을 할 수 있도록 한다. 시스템 제어의 기본 알고리즘은 PID 제어기를 이용하여 구현하였으며, 또한 성능 향상 및 백업 데이터의 인터페이스를 위하여 각 셀 및 단자의 출력 전압과 출력 전류 등을 측정할 수 있도록 하였다.

보조 축전지로는 약 40 Wh의 용량을 갖는 리튬이온 축전지를 사용되며, 냉각 장치, 가

열 설비, 동력 설비, 각종 제어기 및 구동기 등으로 구성된 복합 설비의 최적화를 진행 중이며, LG전자의 업소용 청소기를 이용한 **proto-type**이 제작되었고, 성능 개선이 진행 중이다.

표2. 연료전지 스택 운전 범위

스택 상태	운전 범위
출력용량	최대 출력 150W
연료 및 공기 공급 압력	상압, 최대 0-2kg/cm <sup>2</sup>
운전 온도	상온 25℃
출력 밀도	25mW/cm <sup>2</sup> (0.3V, 80mA)
전극 면적	144cm <sup>2</sup> /cell
전극수	40cell
출력 전압 및 전류	12V, 12A
스택 용량	약 3.8 ℓ
공급 연료	10% 메탄올(CH <sub>3</sub> OH)
연료 공급량	최대 50ml/min.
공기 공급량	최대 7 ℓ/min.

## 5. 결론

정부 대체에너지 사업 과제에 2001년부터 시작된 100 W급 DMFC 시스템 개발 사업은 현재 단위면적 128 cm<sup>2</sup>인 MEA 와 36 cell 스택의 **proto type**을 제작하여 가전용 독립전원으로 Cordless 청소기에 시범 도입하였다. 연료전지의 상용화를 위해서는 1) 저가격화, 2) 고성능화, 3) 신규 시장/응용분야의 확보가 필요하다. 이를 위해 구성요소의 가격을 낮추기 위한 대량생산 공정 및 수요 창출 노력이 병행되고 있다. 관련 기술의 지속적인 연구를 통하여 필수 소재의 국산화뿐만 아니라, 시스템의 성능을 더 높이고 충분한 가격/기술 경쟁력을 갖춘 다양한 응용제품의 개발을 진행할 예정이다.