

# 휴대용 연료전지의 기술동향

김희탁 (삼성 SDI 중앙연구소 에너지 랩 책임연구원)

## 1. 들어가며

연료전지는 더 이상 기술 전문가들만의 대화 주제는 아닌 듯 하다. 2003년 8월 발표된 10대 차세대 성장동력의 하나인 차세대 전지의 대표적인 분야로서 연료전지가 선정되었으며, 2005년 3월 노무현 대통령의 연료전지차 시승을 비롯하여, 국내외 언론을 통한 연료전지 기술 및 이를 기반으로 한 경제사회의 변혁에 대한 전망이 이어지고 있어, 연료전지에 대한 학계 산업계 및 일반인의 관심은 점점 커지고 있다. 연료전지는 자동차 전원, 가정용 발전, 휴대용 전원, 산업용 전원 등 여러 응용분야가 가능할 것으로 여겨지며, 이들 응용분야 중, 단기간에 상업화가 가능하리라 여겨지는 분야가 휴대용 전자기기를 위한 휴대용 연료전지이다. 휴대용 연료전지는 주로 50(W) 이하의 출력을 나타내는 경우에 해당하며, 5(W) 미만의 출력을 가지는 경우에는 micro fuel cell, 5~50(W) 미만의 출력을 가지는 경우에는 small fuel cell로 구분되기도 한다. 휴대용 연료전지 기술은 아직 성숙된 기술은 아니며, 다양한 신기술들이 치열하게 경쟁하고 있는 분야라 할 수 있다. 이러한 기술의 다양성은 연료전지용 소재 뿐만 아니라 연료전지의 구조, 연료전지의 구동 방식 등 전 분야에 걸쳐있으며, 향후 2~3년간은 이러한 기술들의 각축전이 될 것이다.

본 고에서는 휴대용 연료전지 시장, 휴대용 연료전

지 개발 동향, 휴대용 연료전지의 구조 및 동작 원리, 휴대용 연료전지의 기술적 이슈로 구분하여 휴대용 연료전지 기술 전반에 대해 소개 하고자 한다. '휴대용 연료전지 시장'에서는 휴대용 연료전지에 대한 시장의 요구와 이를 만족시키기 휴대용 연료전지의 개발 방향에 대해 정리하였고, '휴대용 연료전지 개발 동향'에서는 휴대용 연료전지 개발 선진업체의 연구 동향에 대해 소개하였다. 또한 휴대용 연료전지의 구조 및 동작 원리에 대한 개괄적 설명을 통하여 연료전지에 대한 이해를 돕고자 하였으며, 마지막으로 향후 해결되어야 할 기술적 이슈에 대해 정리하였다.

## 2. 휴대용 연료전지 시장

최근 휴대용 전자기기 시장은 디지털 컨버전스와 유비쿼터스 개념에 의해 급격한 변화를 보이고 있다. Communication, computing, imaging, entertainment, broad casting, 및 telematics 등의 기능들이 각기 다른 디바이스를 통해 구현 되는 것이 기존의 휴대용 전자기기의 특징이었다면, 미래의 휴대용 전자기기는 컨버전스의 개념에 의해 이러한 기능들이 종합된 것을 특징으로 한다. 또한 모든 전자기기가 무선 통신을 통해 상호 연결되고 제어할 수 있는 유비쿼터스 개념을 통해 미래의 휴대용 전자기기의 기능은 고기능화, 다양화, 집적화 될 것으로 예상되고

있다.

반면, 이러한 전자기기는 보다 높은 출력과 사용시간을 요구하게 되나, 기존의 전원인 배터리로는 사용 출력 및 사용시간에서의 한계점이 드러나고 있다. 현재 mobile phone의 경우 2시간 talk time과 30시간 stand-by에 요구되는 에너지는 약 2.5(Wh)이며, 리튬이온전지(중량당 에너지 밀도 : 150(Wh/kg)) 사용시 16(g)의 전지 중량이 요구된다. 한편, note book PC의 경우 4(hr) 작동시간에 50~75(Wh)가 요구되며 이는 리튬이온전지 무게의 300~500(g)에 해당한다. 곧 기존의 리튬이온전지를 이용한 휴대폰 및 note book PC의 고기능화에 의해 고출력이 요구되는 경우 사용시간은 mobile phone의 경우 2시간 미만 note book의 경우 4시간 미만이 된다. 반면 소비자의 요구는 이동통신의 경우 2시간 이상, note book PC의 경우 8시간 이상이 요구되므로, 기존의 리튬이온전지로는 이러한 요구들을 만족시키기 어렵다.

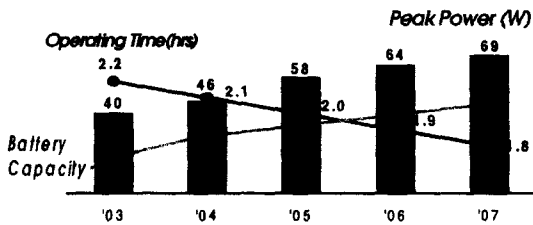


그림 1. Mobile PC의 operating time issue

그림 1은 휴대용 PC의 다기능화에 따른 peak power의 증가와 리튬이차전지의 용량증가를 예상한 것이다. 휴대용 PC의 peak power는 2003년 40(W) 수준에서 2007년에는 69(W)로 70(%) 이상의 증가가 예상된다. 한편, 배터리의 용량은 매년 4~5(%) 수준의 증가를 최근 수년간 나타내 왔으며, 이러한 증가가 2007년까지 유지되는 것을 기대하더라도 2007년에는 2003년 대비 17(%)의 용량 증가 밖에 기대할 수 없다. 따라서 리튬이온전지를 능

가하는 새로운 개념의 휴대용 전원이 개발되지 않는다면, 휴대용 PC의 사용시간은 해가 거듭됨에 따라 감소할 수 밖에 없는 실정이다.

이와 같이 휴대용 연료전지의 시장은 휴대용 전자기기의 고출력, 장시간 사용 요구에 의해 생성되고 있다고 할 수 있으며, 기존에 휴대용 전자기기에 사용된 일차 및 이차전지가 휴대용 소형 연료전지의 가장 큰 경쟁자이며, 휴대용 연료전지가 일차 및 이차전지의 출력 및 에너지 밀도의 한계를 넘어서야 비로서 시장성을 가지게 됨을 의미한다. 리튬이온전지의 이론적인 부피당 에너지 밀도는 700(Wh/L)이며 현재 500(Wh/L)의 수준에 도달해 있다. 반면 휴대용 연료전지는 1400(Wh/L) 정도의 이론적인 부피당 에너지 밀도를 가지는 반면 현 수준은 100(Wh/L) 수준에 미치고 있는 실정이다.

일차전지는 전지내 활물질이 가지고 있는 화학적 에너지를 전기적 에너지로 변환하여 전류를 생성하며, 화학적 에너지가 소진되는 경우에는 전지를 교체 해주어야 하는 특징을 가지며, 이차전지는 충전을 통하여 전기적 에너지를 화학적 에너지로 변환 저장시켜 준 후 이를 방전하여 전류를 생성하는 특징을 가진다. 이에 비해 연료전지는 연료전지 자체가 에너지를 저장하고 이를 방출하는 것이 아니라 연료전지에 연료를 주입하여 전기를 생산시키는 일종에 발전장치라 할 수 있다. 연료전지는 기존의 전지에 비해 1) 고 에너지 밀도의 가능성이 크며, 2) self discharge가 없으며, 3) 충전과정이 필요치 않는 장점을 가진다. 반면 단점으로써 연료전지의 소형화에 대한 난제가 많으며, 2) 소재의 가격이 높으며, 3) 사용자의 Fuel availability가 불명확한 점을 들 수 있다.

그림 2는 요구 에너지량에 따른 연료전지 및 이차전지의 무게, 부피, 가격의 변화를 개략적으로 나타낸 것이다. 이차전지의 경우, 무게 및 부피, 가격은 에너지에 선형적으로 비례하므로, 에너지와 부피(혹은 무게 및 가격)은 상기 그래프에서 원점을 통과하는 직

선으로 기술될 수 있는 반면, 연료전지의 경우, 에너지는 연료에 의해 얻어지게 되며, 연료전지 자체는 에너지를 보유하지 않으면서 부피, 무게, 가격을 차지하게 되어, 에너지가 0인 경우(곧 연료가 없는 경우)에도 부피, 무게, 및 가격을 가지게 된다. 연료전지에 사용되는 연료가 이차전지보다 높은 에너지 밀도를 가지기 때문에 에너지의 증가에 따른 부피, 무게, 가격의 증가율은 연료전지의 경우가 훨씬 낮게 되어 특정 에너지 수치를 기점으로 하여 그 이하의 에너지 영역에서는 이차전지가 연료전지에 비해 비교 우위를 차지하고, 그 이상의 에너지 영역에서는 연료전지가 비교 우위를 차지하게 된다. 소형 휴대용 연료전지가 이차전지 대비 우위를 점하는 에너지 영역이 휴대폰, 노트북 등 휴대용 전자기기에 해당되는 에너지 영역까지 확대되기 위해서는 연료전지 시스템의 부피, 무게, 가격을 감소시켜야 하며, 기술개발의 방향 역시 연료전지의 소형화, 저 가격화에 초점을 맞추어야 한다.

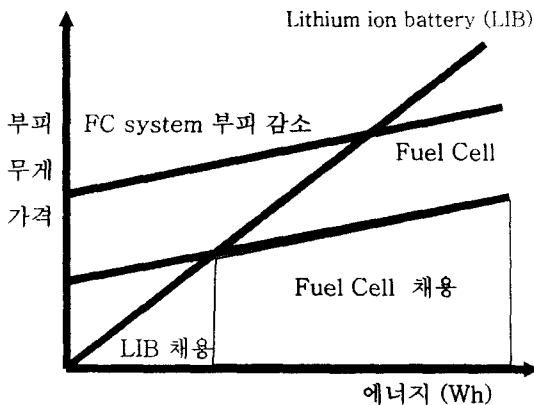


그림 2. 요구 에너지량에 따른 연료전지 및 이차전지의 비교

휴대용 연료전지의 시장 규모는 mobile phone, note book PC, PDA, camcorder 등 휴대용 전자기기의 전체 시장규모와 연료전지의 채용률에 따라 달

라진다. Avicenne development사의 2004년 보고에 따르면 최근 시장 규모는 mobile phone의 경우 연 20(%), note book의 경우 연 20(%), 캠코더의 경우 연 5(%의 비율로 성장하고 있으며, 고출력, 장시간 사용에 대한 사용자의 요구는 증대되는 바, 소형 휴대용 연료전지의 가능 시장은 전망이 밝다고 하겠다. Pricewaterhouse coopers의 시장 전망에 따르면 2011년에는 4억 8천개의 연료전지 수요가 발생하며, 총 180억달러의 시장이 형성될 것으로 예측하고 있다. Allied business intelligence사의 2004년 보고에 의하면 2012년에 전세계 노트북 PC의 13.5(%에 연료전지가 장착되며 총 1억 2천만개의 수요가 있을 것으로 예상하였다. 또한 일본 노무라 종합연구소는 2004년 보고서를 통해 2010년에 휴대용 연료전지 시장규모가 약 1조원에 달할 것으로 평가하였다.

### 3. 휴대용 연료전지 개발 동향

연료전지는 사용되는 연료 및 전해질의 특성에 따라 여러가지 종류로 나뉘며, 이 중에서 휴대용 소형 연료전지의 응용을 위하여 검토되고 있는 것은 DMFC(Direct Methanol Fuel Cell), RHFC(Reformed Hydrogen Fuel Cell), Hydrogen Fuel Cell, Metal Hydride Fuel Cell, Chemical Hydride Fuel Cell 등이 있으나, 대부분의 소형 휴대용 연료전지 개발 업체는 DMFC기술을 이용한 연료전지를 개발하고 있다.

DMFC는 공기와 메탄올 혹은 메탄올 수용액을 이용하여 전력을 생성하는데, 메탄올 및 메탄올 수용액을 소형 카트리지에 저장하고 이를 연료전지의 스택(전기 발생부)에 연결하여 사용한다. 공기는 소형 펌프, blower, 및 팬을 이용하여 스택에 강제적으로 주입할 수 있으며, 또는 air breathing이라 불리는 대기중의 산소가 자연 확산에 의해 연료전지 내부로

전달되는 방식이 가능하다. 메탄올 연료의 주입 역시 소형 펌프를 이용하거나 혹은 모세관 현상등을 이용한 자연 확산방식이 가능하다. 공기 또는 연료를 강제 주입 하는 경우를 active type, 자연 확산에 의한 연료 주입이 일어나는 경우에는 passive type으로 구분되기도 한다.

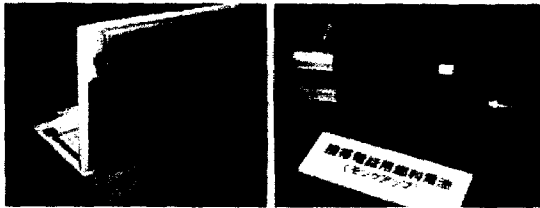


그림 3. Hitachi사의 소형 휴대용 연료전지가 장착된 노트북(좌) 휴대폰 충전기(우)

최근 개발중인 소형 연료전지의 주된 application target은 노트북 PC와 휴대폰이다. Hitachi, Toshiba, NEC, Cannon, Fujitsu, Casio 등 일본 업체들은 소형 연료전지 시스템을 탑재한 노트북 PC 또는 휴대폰 충전기의 prototype을 발표한 바 있다. 일본 Hitachi사는 그림 3과 같은 소형 연료전지 prototype을 2005년 1월 동경에서 개최된 FC expo 2005에서 발표 전시하였다. 왼쪽의 사진은 노트북의 display 뒷면에 평면형의 연료전지 시스템이 부착된 것이고, 오른쪽 사진은 연료전지 충전기가 휴대폰과 연결된 것이다. 본 노트북용 연료전지의 경우, 연료공급을 위하여 펌프를 사용하지 않고 자연 확산에 의해 연료가 스택에 공급되도록 한 passive형의 특징을 가진다. 곧 메탄올 카트리지를 연료전지 상단에 위치시켜 중력에 의해 메탄올이 스택으로 확산되도록 한 것이다. 또한 Hitachi사는 메탄올 연료 카트리지에 대한 높은 기술 수준을 나타내고 있는데, 100 엔짜리 라이터와 같은 경로로 메탄올 카트리지를 편의점에서 판매하는 것을 고려하고 있다고 한다.

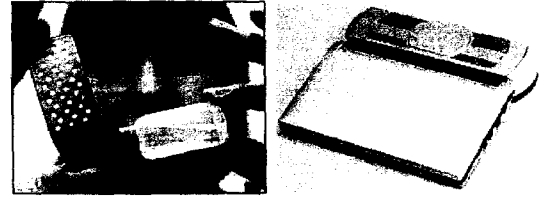


그림 4. Toshiba가 개발중인 휴대용 연료전지 : 휴대폰용 연료전지에 메탄올을 주입하는 모습(좌) 노트북에 장착된 연료전지(우)

Toshiba의 경우는 그림 4의 사진과 같이 노트북의 후단에 연결하여 사용할 수 있는 DMFC 시스템을 선보였다. 이는 펌프를 이용하여 스택에 연료 및 공기를 공급하는 active형 설계로 여겨진다. Toshiba는 연료전지의 상태, 연료 잔량을 노트북을 통하여 사용자가 확인 할 수 있으며, 연료 교체 시기, 연료 교체 완료 여부등을 알려주는 기능을 부가한 특징을 가지고 있다. 또한 핸드폰용 연료전지의 경우 그림 4와 같이 휴대용 메탄올을 직접 연료전지에 주입하여 사용할 수도 있다.



그림 5. NEC가 개발한 노트북용 연료전지 노트북의 하단에 평판형 연료전지가 장착되어 있음

한편 NEC는 나노혼과 백금의 나노복합물질을 이용한 촉매기술과 고농도 메탄올에서 구동가능한

MEA 기술을 바탕으로 한 DMFC 연료전지 시스템을 개발 중이다. NEC의 노트북용 연료전지 시스템의 특징은 그림 5의 사진에 나타난 바와 같이 노트북의 하단에 결합되며 평면구조를 가진다는 것이다. 이들은 평면형 스택을 사용하고, 팬(.fan)을 이용하여 공기를 스택에 공급하며, 메탄올 수용액은 펌프를 이용하여 스택에 공급한다.

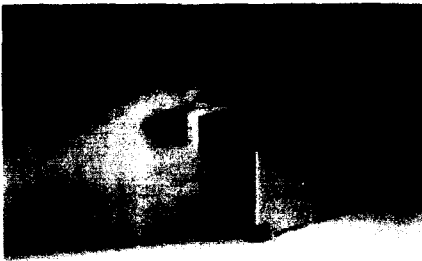


그림 6. Smart Fuel Cell사의 휴대용 연료전지

독일의 SFC(Smart Fuel Cell)사는 소형 연료전지 시스템으로서 commercial product를 가지고 있는 유일한 업체로써, 연 1000대 분량을 판매하고 있다. DMFC 방식을 이용하고 있으며, 그림 6의 사진과 같이 카트리지를 연료전지 시스템 본체에 삽입하여 구동시킨다. SFC A50 model의 경우 50(W)의 출력을 나타내며, recreational vehicles, sailing boats, remote cabin용 전원으로 판매되고 있다.

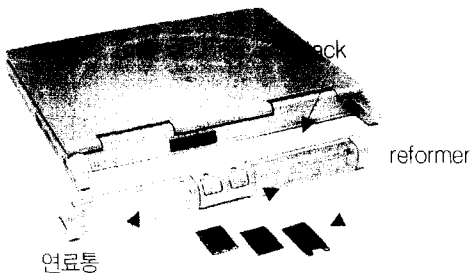


그림 7. CAISO사의 노트북용 소형 연료전지

DMFC 방식 외에 RHFC(reformed hydrogen fuel cell)을 소형 휴대용 연료전지에 응용하려는 시도가 CASIO사에서 진행되고 있다. RHFC란 메탄올 연료를 reformer라 불리는 소형 반응기를 통해 수소로 변환 시키고, 이 수소를 스택에 주입하며 전력을 생산하는 방식을 일컫는다. Reformer는 메탄올을 고온에서 물과 반응시켜 수소를 얻어내는 일종이 반응기이다. 곧 사용자는 메탄올을 주입하는 것이며, 주입된 메탄올은 reformer를 통과하며 수소로 변환되고, 스택에 공급되어 전력을 발생시키는 것이다. 스택에 수소를 주입하는 경우가 메탄올을 주입하는 경우보다 3배 이상의 출력밀도를 나타내지만 reformer를 구동하기 위한 전력 소모, reformer 구동을 위한 추가적인 펌프의 사용, 시스템 부피의 증가, reformer의 가열을 위한 메탄올의 소모, reformer control등의 난제가 남아 있다. 그림 7은 CAISO가 개발 중인 RHFC의 prototype의 사진이다. 소형의 실리콘 웨이퍼를 적층하여 초소형 reformer를 개발하였으며, 연료통과 노트북의 연결면에 스택을 위치시킨 특징을 가지고 있다. 이 밖에 chemical hydride라 불리는 물질을 연료통에 주입하여 보관하고, 사용시 chemical hydride로부터 수소를 발생시켜 스택에 공급하는 방식, 혹은 chemical hydride를 직접 스택에 주입하는 시스템 등이 연구되고 있다.

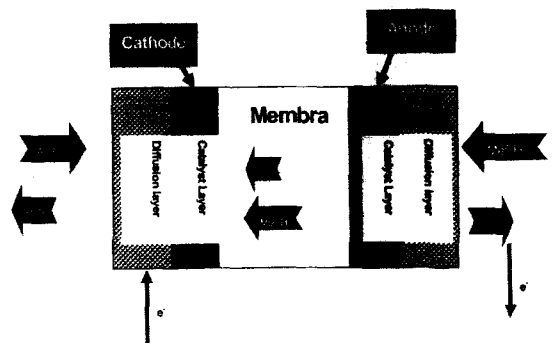


그림 8. MEA의 기본구조

#### 4. 휴대용 연료전지 시스템의 구조 및 동작 원리

그림 8은 연료전지의 기본 구성 요소인 MEA (Membrane Electrode Assembly)를 나타낸 것이다. MEA는 공기 및 연료의 전기화학반응을 일으켜 전기를 생성시키는 역할을 하며, 전해질 막을 사이에 두고 양쪽에 애노드 촉매층과 캐소드 촉매층이 위치하는 구조를 가진다. 캐소드에는 공기가 공급되어, 공기 중 포함되어 있는 산소의 전기화학적 환원반응이 일어나며, 애노드에는 수소 혹은 메탄올 등의 연료가 공급되어, 연료의 산화반응이 발생하게 된다. 곧 양쪽 전극에서의 전기화학반응의 결과로써 MEA를 연결한 전선을 통하여 전자가 이동하게 되는 것이다. DMFC의 경우, 캐소드에서는 공기 중 산소의 산화반응을 통해 물이 부산물로 발생하며, 애노드에서는 메탄올의 환원반응을 통한 CO<sub>2</sub>가 부산물로써 발생하게 된다. 한편 캐소드 및 애노드 촉매층은 확산층이라 불리는 다공성의 카본종이나 카본천과 접촉하고 있는데, 이들은 촉매층을 지지하고, 반응물이 전극에 골고루 분산되도록 하며, 전극에서 발생된 전자를 모아 외부의 전기회로로 이동시키는 전기 집전체의 역할을 하게 된다.

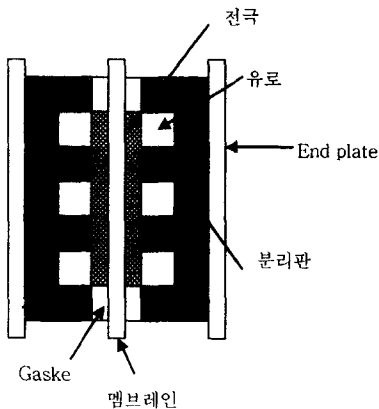


그림 9. 연료전지 단위 전지 구성

연료전지 단위 전지는 MEA와 분리판(separator 또는 bipolar plate)을 결합하여 제조되는데, 그림 9에 도시된 바와 같이 MEA의 양면에 분리판이 위치하게 되는데, MEA와 접하고 있는 분리판 표면에는 유로가 형성되어 있으며, 이를 통하여 공기 및 연료가 MEA내로 공급된다. 분리판은 전기전도성과 내부식성이 뛰어난 graphite가 주로 사용되며, 최근에는 부식성이 뛰어난 얇은 금속 분리판에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 연료전지의 단위전지는 이론적으로 1.2[V]의 전압을 발생시키나, 실제 운전시에는 0.3~0.7[V]의 전압을 발생시키게 되는데, 최적 발생전압은 연료전지의 종류와 활용분야에 따라 다르다. 생성전류는 MEA의 성능과 반응물의 종류, 온도, 반응물의 농도 및 주입량에 따라 달라지며, 전극의 면적에 비례하게 된다. 따라서 전압을 높이려면 단위 셀의 숫자를 늘려서 직렬로 연결하여야 하고, 전류를 높이려면 전극의 면적을 크게 하여야 한다. 단위 전지의 직렬 연결체를 스택이라 일컫는데 스택은 구조상의 특징에 따라 크게 bipolar stack과 monopolar stack으로 구분될 수 있다.

그림 10은 bipolar plate를 사용하여 제조한 bipolar 스택의 구조를 나타낸 것이며, 이러한 스택의 구조는 active type 곧 공기 및 연료를 강제로 스

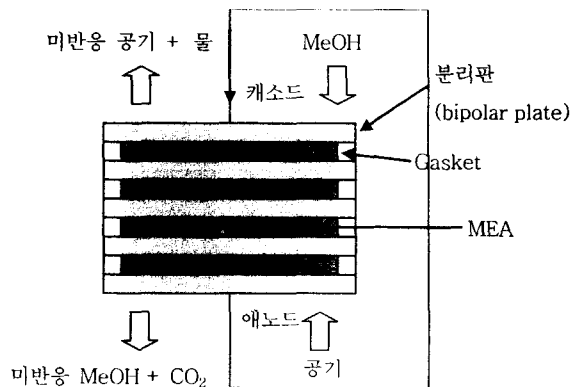


그림 10. Bipolar Stack의 구조

택에 공급해주는 경우에 적합한 구조이다. 그림 4 내 우측 사진에 있는 Toshiba사의 노트북용 연료전지 및 그림 6의 SFC사의 휴대용 연료전지가 bipolar stack을 이용한 대표적인 예이다. 그림 11은 monopolar stack의 개략적 구조를 나타낸 것으로 같은 극이 전해질 막 위에 평행하게 놓여있는 구조를 가지며, 캐소드와 애노드가 전선으로 연결된 직렬구조를 갖는다. 이러한 구조는 그림 3의 Hitachi의 연료전지나, 그림 4 좌측 사진의 Toshiba사의 휴대폰용 연료전지, 그림 5에 나타난 NEC의 노트북용 연료전지에 적용되고 있다. 곧 monopolar stack은 평면형의 연료전지 시스템을 제작하는데 유리하고 할 수 있다.

한편 passive 방식의 구동을 위해서는 monopolar 방식의 stack이 사용되어야 한다. Passive 방식에서는 공기의 캐소드 내로의 공급은 자연 확산에 의해 이루어 지므로 캐소드는 외부공기와 넓은 접촉 면적을 가져야 한다. Monopolar 방식은 캐소드 면과 공기가 접하는 면적이 가장 커지게 되므로 캐소드로의 공기의 확산이 가장 유리하게 된다.

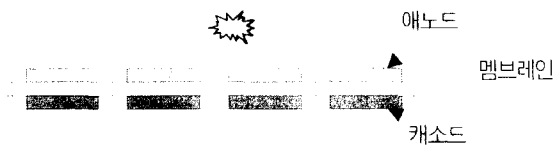


그림 11. Monopolar stack의 구조

휴대용 연료전지 시스템은 앞서 설명된 연료전지 스택을 포함하여 연료 저장부, 연료공급부, 출력제어부의 4부분으로 구성되어 있다. 이중 연료 공급부는 BOP(Balance of Plant)라고도 불리는데, 연료전지의 공급에 필요한 펌프, 팬등을 일컫는 것이다. 연료전지 시스템의 출력은 스택에서 생성하는 출력에서 BOP가 소모하는 전력을 감한 것이므로, BOP의 전력소모가 큰 경우에는 스택의 출력이 동일한 경우, 연

료전지 시스템의 출력이 감소하게 된다. 한편, 스택의 출력은 공기 및 연료의 공급량이 증가함에 따라 증가하게 되는데, 이를 위해서는 펌프의 용량이 커져야 하므로 전력의 손실 및 부피의 증가가 일어난다. 따라서 연료전지 시스템의 출력밀도 및 에너지 밀도를 높이기 위해서는 스택 자체의 출력밀도 뿐만 아니라 연료공급 장치의 소요 출력 및 부피를 고려하여 디자인 하여야 한다.

공기 및 연료공급을 위해 펌프나 팬을 사용하여야 하는 active형 시스템의 경우, BOP의 전력소비를 최소화 하고 소형화 및 경량화 하는 기술이 요구된다. 반면 자연확산에 의해 공기 및 연료가 스택에 공급되는 passive 시스템의 경우에는 스택의 출력밀도는 낮지만 BOP를 사용하지 않음으로 인한 전력 loss의 최소화 및 시스템 부피의 감소가 가능한 장점을 지니게 된다.

## 5. DMFC 기술적 이슈

DMFC 기술이 최근의 휴대용 연료전지 기술을 주된 이슈가 된 것은 메탄올이 타 연료에 비해 다루기 쉬우며, cartridge 내 주입이 용이하고, 안정된 연료보관이 가능하다는 장점 때문이다. 그러나 DMFC는 아직 해결되어야 할 기술적인 난제들을 지니고 있는데, 그 중 하나는 메탄올의 산화반응 속도가 느려 출력밀도가 낮다는 점이다. 이는 메탄올의 산화과정 중 생성되는 일산화탄소 촉매의 표면에 피독되어 촉매의 활성을 낮추기 때문이며, 비록 CO가 CO<sub>2</sub>로 변환되는 산화반응을 촉진시키는 Pt-Ru 촉매를 사용하더라도 수소를 연료로 이용하는 경우에 비해 낮은 반응속도를 나타낸다. 또한 DMFC는 methanol crossover라 불리는, 애노드에 주입된 메탄올은 멤브레인을 통해 캐소드로 이동하고, 이동된 메탄올은 캐소드에 주입된 산소와 반응하여 산화되어 CO<sub>2</sub>로 변환되는 현상으로 인한 출력저하가 존재한다. 이

는 메탄올의 손실에 의한 생성전류의 감소뿐만 아니라, 캐소드의 산소를 고갈시켜 캐소드 내 산소 환원 반응을 저해하고, 캐소드 전압을 낮추어, MEA의 출력이 야기된다. 따라서 애노드에서의 메탄올 산화반응을 촉진시키는 촉매의 개발과 함께 methanol crossover가 억제되는 멤브레인 개발이 중요한 소재 개발의 목표이다.

DMFC 개발의 중요한 issue 중 하나는 사용되는 메탄올의 농도를 높이는 것이다. 일반적으로 연료전지에 공급되는 메탄올은 순수 메탄올이 아니라 물에 희석된 메탄올을 사용한다. 순수한 메탄올 100(g)은 약 600(Wh)의 에너지를 생성할 수 있는 반면, 25(%)로 희석된 메탄올 수용액의 경우 100당 150(Wh)의 에너지 밖에 생성할 수 없어, 연료전지 시스템의 연료통의 부피가 증가할 수 밖에 없다. 순수 메탄올을 연료로 사용하기 어려운 이유는 메탄올의 농도가 높을수록 멤브레인을 통해 캐소드로 메탄올이 이동되는 methanol crossover가 증가하여 성능저하가 야기 되기 때문이다. 순수 메탄올을 연료로 사용하고 연료전지 캐소드에서 발생하는 물을 수거하여 메탄올과 혼합한 후 연료전지 스택에 주입하는 방식을 사용하기도 하지만, 캐소드에서의 물을 수거하는 장치와 이를 메탄올과 혼합하는 장치에 의한 연료전지 시스템의 부피증가가 야기된다. 따라서 고농도 메탄올 연료에서도 낮은 cross over를 나타내는 멤브레인 혹은 MEA가 DMFC 시스템의 부피를 최소화하는데 필요한 핵심 기술이라 할 수 있다.

## 6. 나오며

휴대용 연료전지가 기존의 이차전지를 대체하는 새로운 휴대용 전원이 될 것인가에 대해서는 아직 논란의 여지가 많다. 그러나 해가 거듭됨에 따라 휴대용 연료전지의 상업화에 대한 논의는 보다 국내외적으로 보다 구체화 되고 있다. 자동차용 연료전지의 경우 수

소 스테이션 infra 구축이 선행되어야 상업화가 가능하며, 가정용 연료전지의 경우에도 발전소의 전력 대비 경제적 장점이 있어야 한다는 점을 고려하면, 휴대용 연료전지는 자동차용 및 가정용 연료전지에 비해 시장의 요구가 상대적으로 명확하고, 이미 가능시장이 형성되어 있으므로 기술적인 발전의 여부에 따라 상업화의 시기는 앞당겨 질 수 있을 것이라 예상된다. 현재 삼성 SDI를 비롯한 여러 국내 업체에서도 휴대용 연료전지의 개발이 진행되고 있는 바, 국내 기술 수준이 하루빨리 선진업체의 기술을 뛰어넘어 휴대용 연료전지 시장을 선점하게 되기를 기대해 본다.

### ◇ 저 자 소 개 ◇



김희탁(金熙卓)

1971년 9월 30일생. 1995년 3월 ~1999년 2월 한국과학기술원 박사. 1999.3~2000.10 고등기술연구원 책임연구원. 2000년 11월~ 2002년 12월 Ness Co. Ltd. 수석연구원. 2003년 3월~현재 : 삼성SDI 중앙연구소 책임연구원.



매우 어려운 난제들로 알려져 있었다. 그러나 지난 몇 년 사이의 다양한 컬러 패터닝 기술이 여러 업체에서 개발되어 보고되었고, 재료의 수명도 비약적인 발전을 하고 있다. 또한 능동(AM) 구동기술도 poly-Si 박막 트랜지스터 기술 보유업체 들이 속속 참여하면서 그 개발 속도가 매우 빠르다. 수동(PM) 방식의 경우는 일본의 파이오니아, TDK, 그리고 한국에서는 삼성, LG, 코오롱, Ness 등이 사업화에 참여하였거나 참여를 발표하였으며 모바일(Mobile) 및 차재용 디스플레이의 응용분야에서는 새로운 시장을 이미 형성하였다. 능동(AM)형 소자의 경우도 최근 Sony의 PDA 시판 발표 이후 각 업체의 개발 속도가 급물살을 타게 될 것이며 향후 2~3년 내에 큰 시장이 형성될 것으로 예측된다. 최근의 빠른 기술개발 속도를 본다면 AMOLED의 사업화는 큰 문제가 없으리라고 판단이 되나 몇 가지 점에서 아직 해결해야 할 기술적인 문제점들이 있다. 첫째로 재료 및 디스플레이 소자의 수명향상의 문제를 들 수 있겠다. 앞에서 언급한 것처럼 능동(AM) 구동형 소자에서 전면발광 연구가 활발히 진행되고 있으나 소자의 안정성을 향상시킬 수 있는 봉지기술이 꼭 개발되어야 하며 재료의 수명도 지속적으로 개선되어야 텔레비전이나 모니터 시장에 진입이 가능할 것이다. 둘째로는 아직도 기술 개발 중인 컬러화 기술의 성숙화이다. 대형기판화, 고해상도화가 필히 이루어져야 원가적인 문제나 품질적인 문제를 극복하고 소형 디스플레이를 뛰어 넘는 고부가가치의 중대형 디스플레이로의 도약이 가능할 것으로 판단된다. 셋째로는 OLED향 박막 트랜지스트의 보다 성숙된 기술 개발을 들 수 있겠다. 여러 업체에서 풀 컬러화가 가능한 능동(AM)형 소자 기술을 개발하고 있으나 제작이 용이하고 휘도 조절(Gray Control)이 우수하며 안정성과 균일도가 우수한 박막 트랜지스트의 기술 개발이 이루어져야 고부가가치 제품으로의 사업화가 가능하리라 판단된다. 마지막으로 부품 및 양산 설비기술의 성숙화이다. 주변 산

업 기술의 발달이 동시에 이루어져야 만이 원만한 부품의 조달과 양산설비의 구매가 가능해지기 때문에 주변기술의 공동된 발달이 사업화의 필수 불가결의 조건이다. 최근의 기술개발 속도 및 주변 산업의 적극적인 참여 등으로 미루어 볼 때 AMOLED의 전망은 매우 밝다고 볼 수 있으며 지금까지 보여지지 않았던 한단계 더 성숙된 기술적 도약이 조만간 이루어 질 것이라고 기대해 볼 만하다.

### 참 고 문 헌

- (1) M. Pope, H. P. Kallmann, and P. Magnate, J. Chem. Phys., 38, p. 2042, 1963.
- (2) C. W. Tang, and S. A. VanSlyke, Appl. Phys. Lett. 51, p. 913, 1987.
- (3) J. H. Burroughes, D. D. C. Bradley, A. R. Brown, R. N. Marks, K. Maackay, R. H. Friend, P. L. Burns, and A. B. Holmes, Nature 347, p. 539, 1990.
- (4) M. A. Baldo, D. F. O'Brien, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, Phys. Rev. 60, p. 14442, 1999.
- (5) M. A. Baldo, D. F. O'Brien, Y. You, A. Shoustikov, S. Sibley, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, Nature, 397, p. 151, 1998.
- (6) M. A. Baldo, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, Nature, 403, p. 750, 2000.
- (7) M. A. Baldo, S. Lamansky, P. E. Burrows, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett., 75, p. 4, 1999.
- (8) S. A. Van Slyke and C. W. Tang, US Patent, No. 4, 720432, 1988.

### ◇ 저 자 소 개 ◇



박준영 (朴峻永)

1993년 서울대 물리학과 학사.  
 1995년 서울대 물리학과 석사학사.  
 1999년 서울대 물리학과 박사학사.  
 1998년 1월~1999년 4월 University of California at Santa Barbara, Polymer Institute, Prof. Alan Heeger's Lab. 교환 연구원.  
 1999년 8월~현재 삼성 SDI 주식회사 중앙 연구소, 책임 연구원.