



연료전지 기술동향

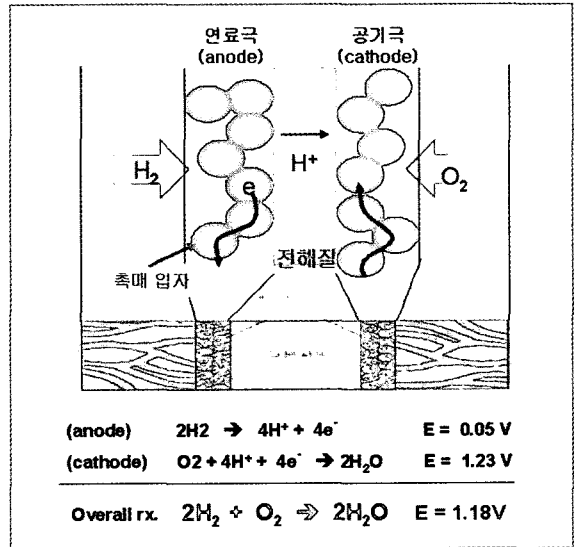
□ 오재기 / 오선택 대표이사
□ 백수현 / 동국대 교수

1. 연료전지

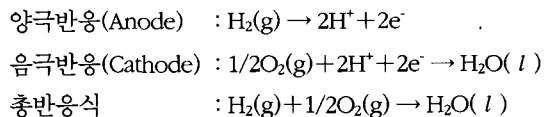
연료 전지(fuel cell)는, 천연 가스와 메탄올 등의 연료로부터 수소를 취득, 대기중의 산소와 반응시켜 전기를 만드는 발전 방식이다. 발전 효율이 대단히 높아 40~60% 정도이며, 반응과정에서 나오는 배출열을 이용하면, 최대 80% 가까이 에너지로 바꿀 수 있다. 게다가, 천연 가스와 메탄올, LPG(액화석유가스; propane gas), 나프타, 등유, 석탄 가스화 가스등 다양한 연료를 사용할 수 있기 때문에 에너지자원을 확보하기 쉽고, 연료를 태우지 않기 때문에 지구 환경보호에도 기여할 수 있는 미래의 에너지다. 또한 연료전지(fuel cell)는 일반 배터리와는 달리, 연료 전지는 재충전이 필요 없이 연료가 공급되는 한 계속해서 전기를 만들어낼 수 있는 발전 시스템이다. 연료전지는 전해질(electrolyte)과 두 개의 전극(electrode)이 샌드위치처럼 포개어져 있는 형태로 산소와 수소가 각각의 전극으로 흘러갈 때, 전기와 열 그리고 물이 만들어진다. 연료전지에는 천연가스, 메탄올, 가솔린 등의 다양한 연료가 사용될 수 있는데, 연료개질기(fuel reformer)를 이용해 수소로 개질하여 사용한다.

1-1 연료전지 원리

물의 전기분해 반응의 역반응과 같다. 연료로서는 주로 천연가스로부터 쉽게 생산해 낼 수 있는 수소와 공기 중의 산소가 사용된다. 수소와 산소는 각각 양극과 음극에서 전자를 주고 받는 반응에 참여하게 되는데, 양극에



서 음극으로 흐른 전자를 이용하는 것으로서 이때 양극과 음극에서 일어나는 전극반응은 다음과 같다.



한 쌍의 양극과 음극에서 발생하는 전기의 세기는 약 1.2volt 정도로서 매우 약한 것이다. 따라서 실제 사용할 수 있는 전력을 얻기 위해서는 아래 사진처럼 여러 개의 양극과 음극을 차례로 쌓아서 필요한 전기의 세기를 얻게 된다.

1-2 연료전지 종류 및 특성

연료전지는 사용되는 전해질에 따라 고분자 전해질 연료전지(PEMFC), 인산형 연료전지(PAFC), 알칼리형 연료전지(AFC), 용융탄산염 연료전지(MCFC), 그리고 고체산화물 연료전지(SOFC)로 구분되어지며 전해질 특성에 따라 작동온도 차이가 있으며, 응용분야가 서로 달라진다.

• PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)

Phosphoric Acid 연료전지는 액체 인산염을 전해질로 이용하며 이 전해질은 Silicon carbide matrix 에 정착된 Teflon에 저장된다. 전해질 양쪽에 있는 전극은 백금촉매에 기공성의 탄소전극이 사용되고 액체 전해질을 사용함으로 장시간 동작후에는 전해질을 보충하여야 한다. 작동온도는 약 200℃로 저온형이다. PAFC는 시스템 개발과 상업화에 있어 가장 기술이 발달되어 있으며 이미 병원, 호텔, 사무실, 학교, 공항, Utility power plant 등 여러 분야에서 이용되고 있다. 또 버스나 기관차 같은 대형차량에도 이용될 수 있다.

PAFC는 이미 상용화 단계에 있기 때문에 관련 소재 기술은 대부분 개발되어 있으며 현재 성능개선, 신뢰성 향상, 수명 향상, 가격 감소 등의 관점에서 연구가 진행되고 있다. PAFC는 연료전지 외부에 연료로 사용되는 천연가스를 수소가스로 개질시키는 외부개질 방식을 채택하고 있다. 따라서 MCFC나 SOFC에 비해 시스템이 복잡하고 효율도 낮다.

• MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)

MCFC는 1960년대 석탄을 직접 이용하여 작동하는 연료전지 개발에서부터 비롯되었으나 오늘날에는 석탄에서 추출한 가스나 천연가스를 이용하는 방법에 실행 가능성을 두고 있다.

MCFC는 혼합 용융탄산염(Molten carbonate salt mixture)을 전해질로 사용하며 전해질의 구성은 여러가지가 있지만 보통 리튬(Lithium)탄산염과 칼륨(Potassium)탄산염으로 구성된다. 약 650℃의 작동온도에서 전해질은 액체상태이며 좋은 이온 전도체이다. MCFC는 같은 전류밀도에서 PAFC보다 작동 전압이 높

다. 작동 전압이 높다는 것은 같은 전극 면적에서 PAFC보다 연료 효율이 높다는 것을 의미하며, PAFC와 같은 용량의 연료전지를 만들 때 MCFC는 크기도 작고 가격도 PAFC보다 적게 든다. 또 촉매는 상대적으로 값이 싼 니켈류가 이용되어 사용할 수 있는 연료의 폭이 PAFC보다 넓다. 앞에서도 언급했지만 고온의 작동온도는 천연가스같은 탄화수소연료를 외부에서 개질할 필요없이 직접 이용 가능하게 한다. 따라서 연료전지로 직접 공급된 천연가스는 연료전지 내에서 수소를 발생시키도록 개질된다.

이러한 내부개질(Internal reforming) 방식을 DFC(Direct Fuel Cell)라고도 하는데 이러한 DFC는 외부 개질이 따로 필요치 않아 시스템이 간단해지고 효율이 높은 이점이 있다.

MCFC부터는 고온에서 작동하므로 소재에 관련된 문제가 많이 발생한다. 특히 MCFC의 경우는 고온액상의 용융염에 의한 소재의 퇴화 현상이 커다란 문제점으로 대두되고 있다.

• SOFC(Solid Oxide Fuel Cell)

Solid Oxide 연료전지는 최근에 활발하게 연구가 진행 중인 연료전지로 PAFC나 MCFC에 비해 연구가 상대적으로 덜 되어 있다.

SOFC는 MCFC와는 달리 액체 전해질이 아니라 고체산화물인 지르코니아 세라믹을 이용한다. 따라서 부식에 관한 문제와 액체 전해질에서 야기되는 취급문제가 감소된다. 세라믹내에서 적절한 이온 전도성을 얻기 위해 시스템은 약1000℃ 정도의 고온에서 작동해야 하는데 이러한 고온에서 내부개질(Internal reforming)이 가능하며 버려지는 열은 일반적인 열발전에 쉽게 이용할 수 있어 높은 연료 효율을 얻을 수 있다. 또 고온의 작동온도는 시동하는데 많은 시간(Start-up time)을 요구하며 열을 저장하는데 상당한 기밀성이 요구된다.

산업용 발전설비 분야의 적용에서는 이러한 요구조건이 어느 정도 만족되나 차량용이나 휴대용 발전기에 적용하는 데는 아직까지 적합하지 않은 것으로 생각된다. 현재 개발 중인 고체산화물 연료전지는 원통형, 평판형 그리고 일체형의 3종류 이나 일체형의 경우 제조공정이



매우 어렵기 때문에 주로 원통형 및 평판형 연료전지가 개발되고 있다. 원통형은 구조적으로 전력밀도가 낮으나 평판형에 비해 제조가 용이해 현재 기술 개발이 가장 앞서 있는 상태다. 평판형 구조는 제조가 쉽지 않은 반면에 전력 밀도가 높기 때문에 많은 연구가 진행중이다. SOFC의 경우 고온에서 작동되므로 재료간의 반응 문제 및 신소재 개발 등이 주요 과제들이다.

• PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell)

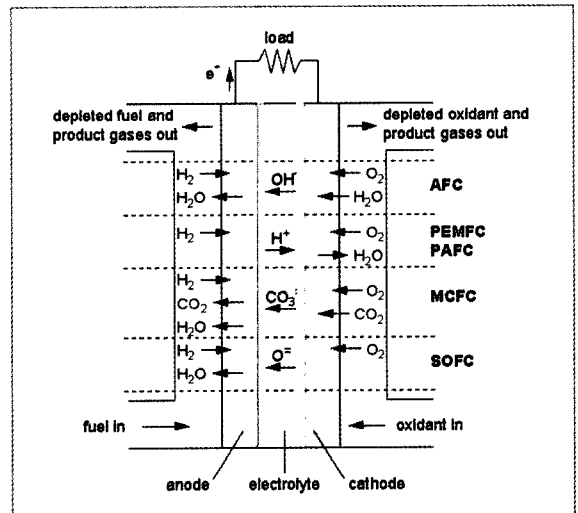
PEM형의 연료전지는 고분자 전해질(Polymer Electrolyte)을 사용하므로 Polymer Electrolyte Membrane 방식이라고도 한다. PEM형은 작동온도(Operating temperature)가 약 80°C로 네가지 타입의 연료전지중 가장 낮고 Power density가 높다. 뿐만 아니라 Power 요구 정도에 따라 출력을 기민하게 변경할 수 있어 신속한 시동이 요구되는 자동차의 동력 공급원으로 사용하기에 가장 적합하다. 현재 개발되어 있는 소형 연료전지 자동차는 모두 PEM형 연료전지를 탑재하고 있으며, 개발중인 소형 자동차용 연료전지도 PEM형을 채택하고 있다. PEMFC는 전해질로 고분자막(Polymer membrane)을 이용하는데 이막은 전기적으로 절연체이지만 수소이온에 대해서는 좋은 전도체로 수소이온을 잘 통과시키는 성질을 가지고 있다. 따라서 공급된 수소에서 분리된 전자와 수소이온중 수소이온만 통과시켜 전력을 얻는 것이다. 또 고체 전해질을 이용하므로 다루기 쉽고 안전한 이점이 있다.

PEMFC의 구성은 두 전극 사이에 전해질이 샌드위치처럼 들어가 있는 형태를 하고 있으며 두 전극과 전해질의 세가지 성분이 열과 압력에 의해 압착되어 하나의 membrane/electrode assembly(MEA)를 만든다. 두 전극의 한쪽면은 얇은 백금(Platinum)이 입혀져 있어 촉매층을 형성하고 있다. 이 백금 촉매층의 사용이 다른 연료전지 타입에 비해 비용 측면에서 불리하게 작용하므로 작은 양의 백금을 사용하면서도 효율을 높이는 방법에 대해서도 연구중이다. PEMFC는 연료로서 순수한 수소 연료나 개질(Reforming)한 탄화수소연료를 이용할 수 있다. 순수한 수소를 연료로 이용할 경우에는 부산물로 열과 물을 배출하므로 유해한 배출물이 전혀없는 반면

개질한 탄화수소 연료를 사용할 경우 열과 물외에 이산화탄소(CO₂)를 배출한다. 또 탄화수소 연료를 사용하기 위해서는 연료전지 외부에 개질장치가 별도로 필요하다. 이는 고온에서 작동하는 MCFC나 SOFC가 부산물로 발생한 높은 온도의 열을 이용하여 내부에서 연료를 개질할 수 있는데 반해 효율을 떨어뜨리는 요인이 된다. PEM형의 자동차용 연료전지 분야에서 최고의 기술을 보유하고 있는 회사는 캐나다의 Ballard Power System 사로 많은 자동차회사들과 기술제휴를 맺고 있다. 최근 디자인과 성능향상으로 인해 다른 연료전지 보다 생산가격이 낮아지고 있다. PEM형 연료전지는 자동차 이외에도 상업용, 산업용의 소형 발전분야에 이용할 수 있으며 비디오 카메라나 노트북등에 전원을 공급하는 휴대용 전지(Portable power), 상업용 선박이나 잠수함등 해양선박에 이용하기 위한 연구도 진행 중 이다.

• DMFC(Direct metanol Fuel Cell)

DMFC는 메탄올을 직접 전기 화학적 반응으로 발전하는 시스템이다. 작동온도는 150°로 비교적 저온이며, PEMFC와 비교하여 개질기를 제거할 수 있으며, 시스템의 간소화와 부하 응답성의 향상을 기대할 수 있는 장점을 갖고 있다. 그러나 반응속도가 낮음에 따른 저출력 밀도, 다량의 백금 촉매의 사용과 메탄올과 산화제의 Cross Over 등의 단점이 있다.




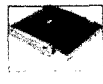




Operating principle of various types of fuel cells

2. 해외 연료전지 기술동향

최근 노트북, PMP, 캠코더 등과 같은 전자 및 컴퓨터 분야에서 고에너지 밀도를 가지는 전원이 요구됨에 따라 이차전지에서 연료전지로 대체시키는 관심이 집중되고 있다. 현재 상용화된 휴대용 연료전지는 시판되고 있지 않고 있으나 시제품 등이 선보이는 가운데 Casio, Toshiba, Smart Fuel cell 등에서 연구 개발이 진행되고 있다. 또한 Manhattan Scientifics사는 휴대전화기용 소형 연료전지 개발을 세계 최초로 시도한 업체로, 휴대전화기 케이스 자체에 액상의 화학적수소화물 NaBH₄를 연료로 사용한 시제품을 발표하였다.

일본의 Casio사는 실리콘 웨이퍼 기술을 이용한 Micro reactor형 연료전지를 탑재시킨 노트북을 개발하였다. 소형전원으로 많이 채택되고 있는 기존의 직접메탄올 연료전지와 달리 소형 개질기를 사용하여 메탄올을 수소로 변환시킨 후 수소를 연료로 하여 발전하는 방식을 채택하여 PMP 등 휴대용 기기에 적용에 대한 많은 연구가 이뤄지고 있다. DMFC에 비해 개질기로 인하여 구조가 복잡해질 수 있으나 수소를 사용함으로써 연료전지의 성능향상과 전체 연료전지 시스템의 출력밀도를 높려는 연구를 현재 진행하고 있다.

표 1 주요 개발사 현황

	Protos	Power/Operating hours	Remarks
TOSHIBA		12W(aver) 20W(peak)	<ul style="list-style-type: none"> Micro fuel cell 개발에 가장 적극적(battery 사업 포기 후 연료 전지에 집중) 휴대폰 용은 사업자인 DoComos와 협력 Acitive type
		10 h with 100ml	
NEC <small>Empowered by Innovation</small>		14W(aver) 24W(peak)	<ul style="list-style-type: none"> Carbon nanohom을 이용한 촉매로 고성능 MEA 제조 및 stack에 적용 Acitive type
		10 hr with 250ml	
FUJITSU		15W 8-10hr with 300ml	<ul style="list-style-type: none"> 모니터 부착형 fuel cell 지속적 개발 Passive type
HITACHI <small>Inspire the Next</small>		10W	<ul style="list-style-type: none"> 2005년 노트북, PDA, cell phone 용 발표 Passive type 2위 휴대전화 사업자인 KDDI 협력
		8hr with 50ml	
SAMSUNG		10W(Scale-up 20W) 10 hr with 100ml	2004년 Proto 출시
SANYO		12W(72W, peak)	<ul style="list-style-type: none"> 일본 IBM과 공동 개발 발표(2005/04) Acitive type
		8 hr with 130cc	

3. 국내 연료전지 기술 동향

최근 휴대용 소형 연료전지 개발이 국내에서도 활발히 이루어지고 있는 가운데 세계적으로 소형 연료전지가 기존 2차전지를 대체할 차세대 전지로 크게 주목받고 있는 가운데 국내업체 및 연구기관들의 개발 성과가 잇따르고 있어 향후 전망을 밝게 해주고 있다. 주요 업체 및 기관 으로서는 한국에너지기술연구원을 비롯해 삼성종합기술원, LG화학 등 대기업 연구소와 오선텍, 퓨어셀파워 등 국내 연료전지 전문 업체들도 연료전지의 조기 상용화를 목표로 활발히 기술개발에 박차를 가하고 있다.

4. 향후 전망

연료전지의 경우 기존 소재로부터의 조립은 기초기술이 확립되어 있는 상태라고 볼 수 있으나, 성능향상, 대면적화, 신뢰성 및 장기성능, 저가격화 등에 보다 집중적인 연구가 이루어져야 할 필요가 있다. 특히 실용화를 위해서는 스택의 경량화, 가격의 저감이 필요하며, 이를 위해서는 나노구조 소재 및 나노기술의 도입이 요구된다. 또한 향후 실용화 단계에 있어서는 전지의 저가화와 함께 시스템의 저가화 또한 중요한 과제이며, 이러한 과

제를 해결하기 위해서는 저가격 신소재의 개발, 소형화된 시스템의 개발, 고밀도 수소 저장기술의 개발, 연료개질을 필요로 하지 않는 연료계와 발전시스템이 요구된다. 구체적으로 우선 촉매활성을 높여야 하며, 전극구조를 최적화하여 전극 성능을 향상시켜야 하고, 스택의 형태를 정밀하게 디자인하여 내부 저항을 최소화하고 단위 부피당 출력밀도를 높이며, 양극 및 음극의 유로를 최적화하여 반응물 및 생성물의 물질 전달 저항을 최소화하는 기술의 개발이 필요하다.