

Thema

| 연료전지의 개요와 국·내외 개발동향

김 현 후 교수
(두원공대 전자과)

전 준 형 교수
(두원공대 전자과)

김 광 태 교수
(두원공대 전자과)

윤 상 현 교수
(두원공대 전자과)

1. 서론

최근에 지구의 환경 문제가 중요한 관심사로 떠오르고 있는 가운데, 이를 해결하기 위해 관련된 많은 규제들이 국제적으로 제정되고, 환경 보호를 위해 시행되고 있다. 이에 가장 중요한 환경 공해는 주로 석유 연료의 사용에 의해서 발생되고 있고, 국내에서 수송수단이 차지하는 석유 에너지 소모량은 97년 현재 약 22%를 상회하고 있으며, 전체 공해 발생량 중 차량 및 수송 수단에서 발생하는 것의 약 50.3%를 차지하고 있으며, 해마다 계속 증가하고 있는 추세이기 때문에 차량에 의한 공해 발생을 절감시키는 것이 매우 중요한 문제라고 할 수 있다. 특히, 연료전지를 이용한 자동차는 에너지원으로 연료전지를 사용하는데, 연료전지는 공기 중의 산소와 연료 중의 수소를 이용하여 전기 화학적으로 전기를 발생시키는 것으로 연료와 공기를 외부에서 공급하여 전지의 용량에 관계없이 계속 발전을 할 수 있는 장치이다. 연료전지는 연료의 화학에너지를 에너지로의 변환 없이 직접 전기에너지로 변환시키기 때문에 효율이 매우 높고 공해가 거의 없는 이상적인 발전시스템이다.

연료전지를 정확히 정의한다면, 연료의 화학 에너지가 전기 에너지로 직접 변환되어 직류 전류를 공급해주는 전지(cell)를 의미하며, 종래의 전지와는 다르게 외부에서 연료와 공기를 공급하여 연속적으로 전기를 생산하는 것이다. 기존의 화력발전 기술은 석탄이나 석유 등의 연료를 연소시키고, 이를 이용해 증기를 발생시키며, 발생된 증기로 증기터빈을 회전시키고, 여기에 연결된 발전기를 회전시켜 전기를 얻는 과정처럼 복잡한 다단계의 공정을 필요로 한다. 그러나 연료전지는 연소하는 과정이나 터빈 등의 구동장치가 전혀 필요 없다. 따라서 화력발전소의 열효율은 보통 35-40% 정도이지만, 연료전지는 50% 정도로 효율이 매우 높은 편이다. 또한 환경문제를 전혀 유발하지 않는 새로운 개념의 발전기술이라 할 수 있다. 연료전지는 통로가 직각으로 교차하는 접촉면에 전극판 물질을 만들어 수소와 산소를 통과시키면 이들의 화학반응으로 인해 전기가 발생되는 원리를 채용한 것이다.

세계 에너지 수요가 산업의 발전과 인구증가에 따라 계속 증가하는 추

세에 있으나, 현재 주요 에너지원인 석유 등 자원의 고갈과 함께 환경오염에 따른 지구온난화 등의 부작용으로 친환경적이면서 충분한 부존자원이 확보된 대체에너지가 절실하게 요구되고 있다. 이러한 대체 에너지로 태양, 풍력, 조력 등 여러 가지가 개발되고 있으나, 최근에 자연 도처에 풍부하게 산재되어 있는 수소를 이용한 연료전지가 친환경적인 미래의 대체 에너지로 관심이 집중되고 있는 추세이다.

연료전지는 1960년대에 우주선에 상용화된 이후, 자동차, 가정 난방 및 전력공급, 전자기기 등에 상용화가 진행되어 미국과 일본을 필두로 유럽이나 해외에 자원에 대한 의존도가 높은 우리나라에서도 관심이 집중되고 있는 산업이다. 특히, 자동차와 가정용 발전기, 그리고 IT산업 중 모바일분야인 노트북, PC, 휴대폰의 고성능화와 카메라 모듈 탑재 등 다기능화로 전력 소모량이 급증하여 기존 2차 전지를 대체할 새로운 전원 공급 장치로 급부상하고 있다.

2. 연료 전지의 개발사

연료전지의 원리는 1801년 나트륨과 칼륨을 발견한 영국왕립과학연구소의 Humphry Davy경이 연료로서 고체탄소를 사용한 연료전지의 원리를 발견하였는데, 이는 이탈리아 물리학자 Volta가 볼타전지를 발견한지 2년 후의 일로 지금부터 약 200년 이전에 이미 발견하였다. 1839년 영국의 물리학자 William Robert Grove경은 황산에 담긴 2개의 백금 전극에 수소와 산소를 공급하여 전류를 만드는 실험에 성공했으나 전류가 매우 작은 반면에 이미 실용화에 성공한 증기기관과 내연기관의 그늘에 가려 연료전지 실용화에 대한 연구로는 연계되지 않았다. 이로부터 연료전지가 실용화를 위해 움직이기 시작한 것은 영국의 Francis Thomas Bacon이 1952년 알칼리형 연료전지의 기초가 되는 연료전지의 특허를 받은 이후, 연료전지의 연구개발은 미국에서 더욱 진전되었는데, UTC (United Technology Corp.)는 Bacon의 특허권을 손에 넣어 알칼리형 연료전지 개발을 추진하게 되었다.

1965년 미국의 NASA 우주개발 프로그램에서 유인 우주선 Gemini 5호에 GE가 개발한 고분자형 연

료전지를 탑재함으로써 연료전지의 실용화에 선두가 되었으며, 뒤이어 Apollo 계획에서는 UTC의 알칼리형 연료전지를 사용하게 되었다. 미국에서는 우주선용의 연료전지개발과 함께 일반 용도의 연료전지 개발도 적극적으로 추진하고 있다. 전력회사가 주체가 되고 있는 대형 연료전지 실용화를 위한 FCG-1 project와, 가스회사가 모체가 되어 소형 연료전지실용화를 위한 Target project 등에 인산형이라 부르는 연료전지 개발 계획이 추진되었다. 또한, 일본에서도 미국과 거의 같은 시기에 전력사업이나 사무실에서 사용되는 비교적 대용량의 인산염 연료전지 개발이 추진되어 왔으며, 1992년에는 field test를 거쳐 실용화한데 이어 지금까지 전국 210 개 공장에서 약 50,000 kW에 해당하는 설비를 도입하여 사용하고 있다.

1990년대에 들어와 자동차용, 가정용 열병합발전, 휴대용 기기에 사용되는 연료전지 개발이 경쟁적으로 추진되고 있는데, 그 계기가 된 것은 Canada의 Ballard Power Systems가 1987년에 개발한 불소계 이온교환 수지막을 사용한 고체고분자형(PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell) 연료전지에서 비롯되었다. GE가 우주용으로 개발한 고체 고분자형은 내구성과 원가에 문제가 있어 개발이 중지되었으나, 그 후 소재 혁신을 통해 뛰어난 내구성을 가진 PFS막(perfluorocarbon sulphonic acid polymer membrane)이 개발되어 소형이며 낮은 원가의 연료전지 개발이 세계 여러 나라에서 추진되고 있다.

따라서 연료전지는 그동안 증기기관이나 가솔린 엔진의 그늘에 가려 오랫동안 햇빛을 보지 못하다가 1960년대에 들어와 Gemini Project와 Apollo Project를 통해 우주선용 전원장치로서 활용되었고, 현재는 자동차에도 채용하기 위해 취약점인 배터리 파워와 수명, 브레이크 시스템, 수소 저장량 등을 개선함으로써 약 250~320km의 주행거리 및 시속 130km의 최고 속력을 실현하여 곧 시판을 목표로 추진 중에 있다.

3. 연료전지의 기본 개념

수소와 산소가 가지고 있는 화학 에너지를 전기

화학반응에 의하여 직접 전기 에너지로 변환시키는 고효율의 무공해 발전장치로서 공기극(cathode)에는 산소가, 연료극(anode)에는 수소가 공급되어 물의 전기분해 역반응으로 전기화학반응이 진행되어 전기, 열, 물이 발생한다.

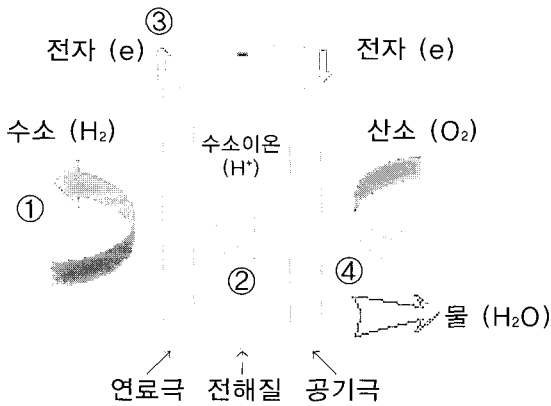
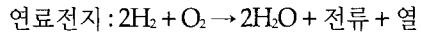
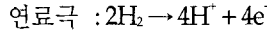


그림 1. 연료전지의 원리 개념도.

고분자 전해질 연료전지의 기본 개념은 수소와 산소의 전기화학 반응에 의하여 물이 생성되며, 동시에 발생하는 전기를 이용하는 것으로 설명할 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 연료극에서 수소가 수소이온과 전자로 분해하고, 수소이온은 전해질을 거쳐 공기극으로 이동한다. 전자는 외부회로를 거쳐 전류를 발생하며, 공기극에서 수소이온과 전자, 그리고 산소가 결합하여 물이 된다. 연료전지는 물의 전기분해와 반대되는 원리로 발전을 하는데, 물을 전기분해할 때는 외부의 전기를 통해 흡수하여 물을 수소와 산소로 분해하는 반면에 연료전지는 수소와 산소를 전기 화학적으로 반응시켜 전기를 발생한다. 수소 단독으로 자연계에 존재하지 않기 때문에 다른 물질로부터 추출해야 하는데 수소를 여러 가지 연료에서 추출하는 것을 개질이라고 하며, 가정용 연료전지의 병합발전은 도시가스, LPG, 등유에서, 연료전지 자동차는 methanol, gasoline 등에서 수소를 추출한다. 연료전지에 사용되는 산소는 공기 중에 있는 것을 이용하고 수소는 도시가스 등 천연가스 등에서 추출하여 사용하는데, 고분자 연료전지의 전극

반응은 아래의 식과 같으며, 최종적으로 전기와 열 및 물이 동시에 생성된다.



4. 연료전지의 구조

연료전지 시스템의 구성을 살펴보면, 연료전지는 수소와 산소로부터 전기를 발생하는 본체와 도시가스 등에 의해 공급되는 수소를 만드는 장치인 연료개질장치, 발전된 직류전원을 교류로 변환하는 인버터, 연료개질장치와 본체로부터 나온 열을 회수하여 증기나 온수로 변환하는 장치인 배기회수장치로 구성된다.

연료전지에서 가장 중요한 본체는 cell stack이라고 하는데, 이는 많은 셀(cell)을 차곡차곡 쌓은 구조로 되어 있고, 하나의 셀은 연료전지를 구성하는 기본 단위로서, 단전지(單電池)라고도 부른다.

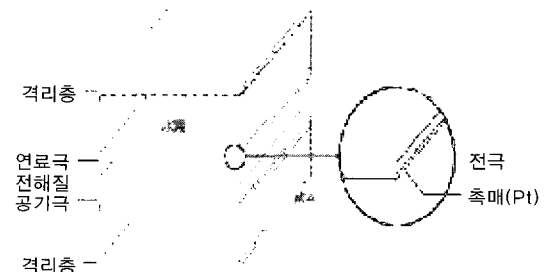
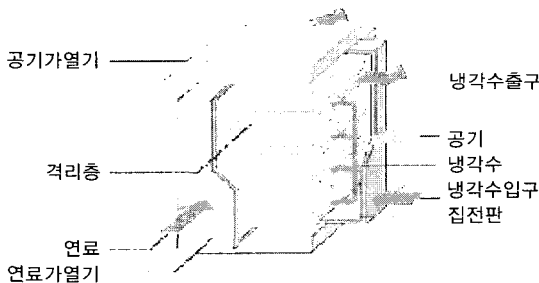


그림 2. 연료전지의 셀.

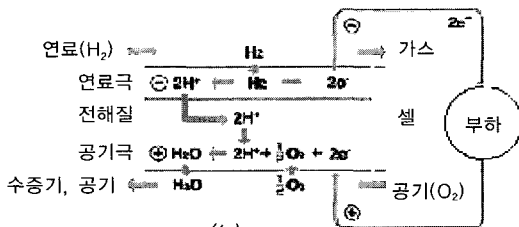
그림 1에서 보여주듯이 셀은 ⊕전극인 공기극, 전해질, ⊖전극인 연료극으로 구성된 샌드위치 모양을 갖는다. 셀과 셀 사이에는 격리층이 있으며, 격리층은 인접한 수소와 산소의 통로를 구분하고, 전기적으로 연결하는 역할을 하며, 공기극과 연료극은 기체를 통과할 수 있는 구조로 만들고 화학반응에 필요한 산소와 수소가 그 안을 통과할 수 있도록 되어 있다. 수소는 전극 속에 있는 촉매의 작용으로 전자를 분리하여 수소 이온이 되며, 전해질은 이온만을

통과시키기 때문에 여기에서 분리된 전자는 밖으로 튀어나가게 되고, 전해질 속으로 이동한 수소 이온은 반대쪽의 전극으로부터 보내진 산소와 외부로부터의 전선을 통해 되돌아온 전자와 반응하여 물이 생성된다. 반응에 관여하는 전자가 외부회로를 통과한다는 것이 원리의 핵심이며, 즉 전자가 전선으로 이동한다는 것은 전류가 흐른다는 것으로 전기가 발생한다는 것을 의미하게 된다.

하나의 셀에서 만들 수 있는 전압은 0.7V 정도이고, 전압을 높이거나 발전량을 늘리기 위해서는 셀을 적층으로 구성해야 하며, 이는 건전지를 직렬로 연결하는 것과 마찬가지로 원리이다. 연료전지의 특징은 오랫동안 사용할 수 있고, 발전효율이 높으며, 폐열을 이용할 수 있는 장점 이외에 환경과 친밀하고, 소음이나 진동이 없다는 등이다. 이와 같이 기술한 연료전지의 간결한 동작원리는 다음의 그림 3에서 보여주고 있으며, 그림 3(a)는 연료전지의 본체의 전체 구성도를 나타내고 있고, 그림 (b)는 본체 내에서 동작되는 과정을 명료하게 보여주고 있다.



(a)



(b)

그림 3. 연료전지의 동작원리.

5. 연료전지의 종류

연료전지는 전해질의 종류에 따라 표 1에 나타난 바와 같이 몇 가지로 분류할 수 있는데, 이 중에서 핵심적으로 연구되는 것은 고체고분자형 연료전지이다. 자동차와 주택에는 주로 고체고분자 연료전지 (polymer electrolytic full cell)가 사용되기 때문에 자동차 업체와 도시가스회사 등이 이를 집중적으로 개발하고 있으며, 고체고분자형 연료전지 이외의 연료전지에 대해서도 연구개발이 추진되고 있지만, 아직 실용화 단계에까지는 이르지 못하였다.

표 1. 연료전지의 종류와 특징.

구분	고체고분자형 (PEFC)	인산형 (PAFC)	용융탄산염형 (MCFC)	고체전해질형 (SOFC)
원료	도시가스, LPG 등	도시가스, LPG 등	도시가스, 석탄, LPG 등	도시가스, LPG 등
기체	수소	수소	수소, 일산화탄소	수소, 일산화탄소
전해질	양이온 교환막	인산	탄산리튬, 탄산칼륨	안정화 질코니아
동작 온도	약 100℃	약 200℃	약 650℃	약 1000℃
출력 효율	50 kW, 35-40%	1000 kW, 35-42%	10만 kW, 45-60%	10만 kW, 45-65%
개발 현황	실용화 단계	실용화	연구단계	연구단계
용도	가전, 자동차 등	업무용, 공업용	공업용, 분산전원용	공업용, 분산전원용

알칼리형 연료전지(alkaline fuel cell)는 우주선의 전원으로 실용화되고 있으나, 보급형으로는 아직 경제성이 없는 실정이다.

연료전지에는 이미 기술한 바와 같이 몇 가지 종류가 있는데, 그 중에서 가정용, 휴대용, 자동차용 등으로 가장 적합하게 응용할 수 있는 것이 고체고분자형 연료전지로서, 미래에는 고체고분자형 연료전지가 더욱 널리 보급될 것으로 예측된다. 고체고분자형 연료전지의 특징은 동작이 부드럽고, 원가절감이 가능하며, 소형, 경량화가 가능한 것이 장점이다. 여기서 동작이 부드러운 이유는 외기 온도와 동일한

온도에서 발전할 수 있고, 초기동작도 유연하기 때문이다. 그리고 원가절감이 가능하다는 것은 발전하는 경우에도 온도가 90℃ 이하로 억제할 수 있어 고온에 견디지 못하던 plastic 재료도 사용이 가능하며, 소형, 경량화가 가능한 것은 얇은 막의 전해질을 사용할 수 있어 전기저항이 작고 발생한 전력손실이 적어 같은 크기의 전기를 만들더라도 다른 종류의 연료전지보다 셀의 적층이 작아져 가벼워지며, 이와 동시에 보온재와 보조 기기도 작고 가벼워지기 때문이다. 고체고분자형 연료전지의 전극으로는 탄소가 사용되지만, 촉매로는 값이 비싼 백금이나 백금계의 합금이 사용되며, 전해질막에는 불소계의 고분자재료가 사용된다. 격리층은 셀 사이에 끼우도록 배치되고 있고, 재질은 탄소판 또는 전기를 통할 수 있는 성질을 가진 수지로 만들며, 또한 표면에는 가느다란 홈이 파져있어 수소와 산소가 이를 통해 전극에 공급되며, 발전할 때 발생하는 열은 냉각수 등을 통해 회수되는 구조를 가진다. 일반적으로 직렬로 접속하고 있어 높은 전압과 큰 전력을 얻을 수 있다.

고체고분자형 연료전지의 활용사례로 가정용 시스템을 보면, 가정용 고체고분자형 연료전지 시스템은 도시 gas 등 연료로부터 수소 가스를 얻고 공기 중의 산소와 화학 반응하여 발전하도록 되어 있다.

6. 연료전지의 미래시장 동향

연료전지는 2010년경에 가정용으로 약 40만대와 업무용으로 10만대 정도의 시장규모를 형성할 것으로 예측되며, 가격은 대략 가정용으로 한 대에 3,750달러, 업무용으로 대당 10,410달러로 계산하여 총 약 25억달러에 접근할 것으로 추정된다. 아직까지는 시장 형성이 잘 이루어지지 않고 있으나, 2005년부터 가정용을 중심으로 상품화가 실현될 것으로 예상하며, 2007년에는 업무용 시장도 형성될 것이라 기대하고 있다. 특히, 가스 합탕기의 출하 대수는 현재 연간 약 120여만 대이며, 2010년경에는 시장의 1/3이 연료전지 병합발전으로 대체할 것으로 예상된다.

영국 ABI(Allied Business Intelligence)는 마이크로 연료전지 시장이 내년 2000대 규모로 시작되어 기존 2차 전지 시장을 급속하게 대체하여 2012년경

에는 1억2000대 규모로 늘어날 것으로 기대하고, 특히 2012년엔 기존 노트북 PC의 최대 15% 가량이 마이크로 연료전지를 탑재할 것으로 전망하고 있다.

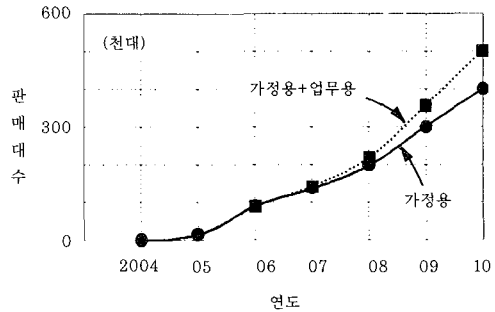


그림 4. 연료전지의 시장동향.

7. 연료전지의 국내외 산업개발동향

앞서 기술한 바와 같이 연료전지는 수소를 얻기 위한 연료로서 다양한 에너지를 사용할 수 있고, 전기화학적 원리에 의해 연소과정이 요구되지 않기 때문에 열효율이 높으며, 오염물질이 배출되지 않는다는 등의 장점으로 인하여 미래의 에너지로 각광을 받고 있다. 따라서 주요 선진국에서는 현재 연료전지 개발에 국가적인 역량을 집중시키고 있다. 그러나 최근에는 장애요인을 무시하고 상용화에만 너무 몰두하고 있다는 지적이 대두되고 있다.

연료전지는 항공기, 자동차, 전력생산 및 전자기

표 2. 연료전지의 기술 장벽과 기술개발 난이도.

응용분야	기술 장벽	난이도
구동방법	가격	high
	내구성	high
	연료구조	high
	수소저장	high
설치용	가격	high
	내구성	medium-high
	연료구조	low
	수소저장	high
휴대용	가격	medium
	내구성	medium
	소형화	high
	연료 패키징	medium

기 등 다양하게 활용된 시작품이 개발되고 있는 상황으로 환경 친화적 미래 대체 에너지로 최근에 많은 선진업체들이 참여로 비교적 기술개발이 빠르게 진행되고 있는데, 표 2는 연료전지의 기술 장벽과 개발 난이도를 나타내고 있다.

이제, 주요 국가별로 추진되고 있는 개발동향을 살펴보도록 한다.

7.1 미국의 개발동향

미국의 부시행정부는 연료전지와 수소 분야의 기술개발을 위해 향후 5개년에 걸쳐 총 12억 달러 규모의 투자계획을 마련하고 있으며, 첨단기술의 상용화의 시기를 앞당기기 위해 청사진을 제시하고 있다. 하지만 전문가들은 연료전지와 수소 분야에 대한 정부의 투자규모가 무모하리만치 작다고 주장하고 있다. 미국 정부는 연료전지가 차세대의 에너지 소비 증가에 대응할 수 있는 해결책으로 해외 에너지에 대한 의존도를 감소시키며 온실가스 배출을 줄일 수 있는 효과적인 수단일 것으로 확신하고 있다. 미국의 연료전지위원회는 연료전지와 수소의 미래전망이라는 보고서를 통하여 자동차용 및 발전용 연료전지의 상용화는 정부의 적극적이고 지속적인 지원 하에서만 가능하며, 또한 정부와 민간기업 간에 상호 협력과 노력이 반드시 필요하다고 주장하고 있다. 특히, 기술개발에 대한 정부의 대규모 공적투자 지원과 시범사업 등의 일환으로 향후 10년간 약 55억 달러의 투자가 필요하다고 제안하였다. 한편, General Motors에서는 연료전지 충전소 설치와 자동차 부문 연료전지 기술에 대한 추가 연구를 위해 최소 100억에서 150억 달러가 요구된다고 주장했다.

이와 같이 미국에서는 최근 연료전지 응용 부문에서 광범위한 연구가 이루어지고 있는 실정이다. 휴대용 연료전지는 노트북 PC나 휴대전화와 같은 전자제품의 전원으로 이용할 수도 있고, 설치식 연료전지는 가정, 상업 및 공업 시설의 전원으로 활용할 수 있다. 그리고 자동차에서 열차까지 모든 교통수단의 연료로서도 역시 관심을 끌고 있다. 단점으로는 높은 생산비와 자본비용이 높아 상용화에 걸림돌이 되고 있다는 점이다. 연료전지는 안전하고 안정적인 것으로 여겨지지만 내구성, 관리유지 및 수

명주기에 따른 비용은 반드시 해결하여야할 숙제라고 할 수 있다. 또한, 차량용 연료전지는 수소의 생산, 저장과 운반 등에서 여러 문제점을 안고 있다. 차세대 연료전지 가운데 고분자 전해질 연료전지(PEMFC) 시스템이 차량 동력원으로 가능성을 시험받고 있으며, 주택의 경우 3-5kW 규모의 베타버전이 각광을 끌고 있다. 그러나 50-150kW급의 대형 시스템의 적용은 기술적인 장벽에 부딪혀 있다. 250kW-1MW 규모의 용융탄산염 연료전지(MCFC)는 발전 용량에서 2위를 달리고 있고, 세라믹을 전해질로 사용하는 고체산화물 연료전지(SOFC)에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 미국 내의 전문가들에 의하면, 자동차산업이 연료전지에 대한 있어 개발을 촉진시키는 원동력이긴 하지만, 분산형 전원개발에 적용될 설치식 연료전지가 미래에 보다 큰 실용화의 대상이 될 것으로 주장하고 있다. 장기적인 목표로는 어디서든 사용 가능할 정도로 비용이 낮은 제품을 개발하는 것이다.

전반적으로 수소기술 개발에 기대를 걸어볼 만은 하지만, 하루아침에 수소기술로 전환되는 일은 없을 것이라는 주장이 있다. 실제로 수소 에너지가 개발되려면 오랜 시간이 걸리기 때문에 사실은 아무 것도 진행되고 있지 않은 셈이라는 것이다. 아울러 진정으로 수소 경제시대의 도래를 바란다면, 개발 자금을 지금보다 6-10배 더 많이 쏟아 부어야 할 것이라고 한다.

7.2 유럽의 개발동향

유럽에서도 연료전지와 수소 기술개발에 진지한 관심을 보이고 있다. 유럽에서는 이러한 분야의 기술발전에 박차를 가하기 위한 취지에서 2003년 중반에 열린 유럽정상회담에서는 중동산 원유에서 유럽을 떼어내고 수소로 전환하는 전략이 매우 중요한 과제라고 협의하였다. 그러나 정책적인 관심이 구체적으로 이루어지지 않고 있는 실정이다. 현재로서는 개발지원 자금을 늘리고는 있지만, 여전히 연구 및 초기 개발단계에 머물러 있으며 연료전지기술이 앞으로 최소한 5년 동안은 실용화를 위한 기술개발의 진전은 어려울 것으로 예상하고 있다. 그리고 유럽에서는 연료전지와 수소 에너지 분야를 구분하려는

경향을 나타내고 있는데, 이는 수소가 각종 연료전지에 사용되는 만큼 하나로 묶어야 하겠지만, 기술까지 하나로 묶을 수 없다는 관점에서 비롯된 것이다. 수소는 장기적으로 오염물질 배출이 없는 발전 및 자동차 연료의 열쇠를 쥐고 있지만, 아직도 현실과 동떨어진 반면에 연료전지는 각종 연료를 에너지원으로 사용할 수 있고, 수소와는 무관하게 시장에 도입될 수도 있기 때문이다.

유럽은 연료전지 및 수소 기술개발에 대한 태도에 있어 다른 선진국과 차이를 보이고 있으며, 미국이나 일본보다 오히려 이상적인 비전을 채택하려고 하고 있다. 즉, 지역 경쟁력이나 오염물질 배출에서 얻을 수 있는 단기적인 이익에 초점을 맞추기보다는 연료전지와 수소가 결합한 오염물질이 전혀 없는 기술구축이라는 다소 모호한 개념을 도입하고 있다. 장기적인 목표로 연료전지와 신생 및 재생 에너지의 결합은 이산화탄소 배출이 없는 경제를 달성할 수 있다는 점에서 매력력을 지닌다. 수소경제 없이도 연료전지는 가능하지만, 연료전지 없이 수소경제를 이루기는 불가능하다는 점에서 유럽에서는 연료전지에 대한 관심은 계속 높아지고 있다. 따라서 유럽은 연료전지 및 수소개발에 대한 예산 지출을 크게 늘리고 있고, 대형시험사업이나 상업화 프로젝트보다 연구 및 교육부문에 집중하고 있다.

전반적으로 유럽은 연료전지 기술에 관하여서는 아직 미국이나 일본에 뒤쳐져 있는 형편이며, 이는 유럽의 산업동향이 채택한 접근방식이 부품이나 서브시스템에 주력하고 있기 때문이다. 그러나 유럽에서도 변화의 물결이 일고 있으며, 예를 들면 Baxi사나 Vaillant사는 가정용 열병합 발전기에 연료전지의 사용 가능성을 검토하고 있다. 그리고 스위스의 Sulzer Hexis도 가정용 발전기에 고체산화물형 연료전지 기술의 적용을 검토 중이며, 이미 시제품으로 일부 가정에서 설치하고 있다. 차량용으로 상용화하려는 연료전지의 기술도 아직은 먼듯하다.

7.3 일본의 개발동향

일본 정부와 산업체들은 연료전지 개발에서 미국이나 유럽에서 보다 훨씬 긴밀하게 공조하고 있는 상태이다. 일본에서는 이미 연료전지를 일본시장에

도입하고, 가능한 한 부품과 장치를 국내기술로 생산하려는 목표로 추진하고 있다. 즉, 마쯔시타전기, 미쯔비시, 산요 및 도시바 등 일본의 대기업들이 대거 참여하고 있고, 정부차원에서 지속적으로 연료전지 실용화를 적극 장려해왔다. 또한, 자금 지원이외에도 정부와 기업들은 긍정적인 접근방식이 기술개발을 촉진하는데 커다란 효과를 발휘하는 것으로 나타나고 있다. 이는 일본정부가 연료전지 기술의 실용화를 통하여 막대한 에너지 수입을 줄일 수 있다는 기대와 환경 개선과 산업에서의 신기술에 대한 선도적 위치의 확보를 예상하고 있기 때문이다. 그리고 국민을 대상으로 많은 홍보에도 적극적으로 힘쓰는데, 이는 총리가 직접 연료전지 자동차를 운전하는 모습에서도 찾아볼 수 있다.

연료전지 분야에서 가장 눈에 띄는 성과로는 시범사업을 들 수 있다. 예로서 일본의 수소 및 연료전지 자동차 시범사업(JHFC: Japan hydrogen fuel cell project)를 들 수 있고, 또한 주요 대도시에 수소 충전소를 세우고 있다. 한편, 일본의 주요 자동차 메이커들은 교통량이 많은 도교를 중심으로 연료전지 시제품 차량을 시험운행으로 제공하고 있고, 전력공급용 전지와 내연기관을 함께 장착한 하이브리드 차량을 제공하고 있다. Honda 자동차에서는 운행결과를 토대로 하이브리드 엔진이 기존의 가솔린 엔진보다 효율적이지만, 연료전지를 사용할 경우에는 하이브리드 엔진보다도 두 배 이상의 효율을 갖는다고 주장하고 있다. 그러나 아직까지는 연료전지를 이용한 차량에 대한 대량생산은 아직 시기상조이고, 추가적인 개선이 요구되고 있으며 일본에서조차도 2010년 이전에 상업화를 기대하고 있지는 않는 것으로 판단하고 있다. 일본 정부의 목표로는 2010년에 5만대의 연료전지 차량을 생산하려고 하고 있지만, 충전문제 역시 연료전지 차량의 상업화를 늦추는 요인이다.

한편, 다른 응용분야에서는 이러한 문제점을 비켜갈 수 있는데, 연료전지는 약 60%의 효율을 가지며 이는 첨단의 가스터빈에 결코 뒤떨어지지 않는다고 한다. 그러나 용융탄산염 연료전지나 고체산화물 연료전지 등의 일부 연료전지 기술은 검토 중에 있으며, 진전이 느린 편이다. 일본의 휴대용 전자기기에 사용될 1kW 미만의 소형 연료전지 개발에 있어

서는 선두를 달리고 있다. 지속적인 기술혁신과 전력수요 증가는 기존의 전지 성능만으로는 부합할 수 없다. 연료전지가 전자산업의 요구조건을 충족시킨다면 대체 전지로서 상당한 매력을 갖는다고 할 수 있다. 노트북 제조업체들은 시제품의 연료전지를 장착한 PC를 출시하기 시작하였고, 미래의 상업화 시점을 앞당기고 있다.

일본에서는 수소를 이용한 연료전지가 인산형, 용융탄산형, 고체산화물형, 고체고분자형 등의 개발로 높은 발전효율과, 배기 오염물질이 없으며, 저소음이고, 배열의 이용이 가능하다는 특징 등으로 인하여 2007년부터 시장이 형성될 것으로 예측되어 많은 업체들의 참여가 확산되고 있다. 특히 마쓰시타, 미쓰비시, 산요전기, 도시바, 히타치, 도요타 등이 적극적으로 참여하여 연료로는 도시가스, LP가스, 정유, 나프타 등으로 2003년도는 이들 업체로부터 시스템을 제공받을 수 있고, 일본 내에 31개소에서 시험 운영하고 있으며 주요 내역으로는 가정용 시스템 출력 1kw급이 22개소, 업무용 5kw급이 9개소이다. 또한 일본가스협회는 주체적으로 연료전지의 안전성, 성능시험방법 등도 검토하고 있다.

표 3. 국내 연료전지의 기술 경쟁력.

부품명	부품 설계능력	생산 설비수준	생산 기술수준	종합
MEA	30	20	20	23
분리관	40	40	40	40
스택	30	30	30	30
개질기	50	50	50	50
시스템	37	42	35	38
연료전지종합	37	36	35	36

7.4 국내의 개발동향

국내에서의 연료전지 산업기술동향은 서구 선진국과 일본에 비해 뒤떨어진 편이지만, 최근 대기업체들을 중심으로 기술개발에 박차를 가하고 있으며, 또한 정부에서도 연료전지와 수소 에너지의 중요성을 인식하여 기술개발에 지원을 추진하고 있다. 표 3은 국내 연료전지 산업의 기술경쟁력을 나타내고 있으며, 이는 선진국에 비해 열악한 것을 의미하고 있

다.

국내의 가전 및 전지업계가 현재 상용화에 주력하고 있는 연료전지는 기존 전지시스템의 용량을 한 단계 뛰어넘는 전혀 새로운 발전시스템으로써, 그동안 상용화의 걸림돌로 작용했던 안전성, 가격, 소형화 등의 문제해결이 빠른 진척을 보이면서 이르면 연내에 연료전지를 탑재한 노트북 PC, 디지털캠코더, 휴대전화기 등이 출현될 것으로 보인다. 특히, 미래형 모바일 동력원으로 최근 노트북 PC, 휴대폰의 고성능화와 컬러화 카메라 모듈 탑재 등으로 전력소모량이 급격히 늘어나면서 전지용량이 제품 성능을 좌우하는 최대 관건으로 대두되고 있는데, 여기에 IMT-2000 및 휴대용 DMB(디지털멀티미디어방송) 서비스 등 첨단 멀티미디어 모바일 서비스가 본격화되기 위해서는 기존 2차 전지를 능가하는 전혀 새로운 전원공급 장치에 대한 필요성도 높아지고 있는 상황이다. 물론, 현재 노트북 PC와 휴대폰의 전원장치로 일반화된 리튬이온전지도 신소재 개발 등을 통해 초기에 비해 용량이 크게 개선되고 있으나, 제한된 전지의 크기에서는 급격히 늘고 있는 전원소모량을 따라잡기에 역부족인데다 재충전 속도가 느리고 폭발 위험성 등 단점이 존재한다. 연료전지는 에너지 밀도가 기존 리튬이온전지보다 훨씬 높아 사용시간이 6~10배가량 긴데다, 재충전할 필요가 없어 카트리지 형태로 용기를 교환해주기만 하면 거의 무제한적으로 사용할 수 있으며, 또한 풍부한 친환경자원을 사용함으로써 기존 2차 전지의 단점으로 지적돼왔던 폐기할 경우의 환경 오염문제를 미연에 방지할 수 있어, 기술 및 가격의 안정화만 이룬다면 현재의 2차 전지를 급속히 대체할 것으로 예측된다.

국내에선 한국에너지기술연구원을 비롯해 삼성종합기술원, LG화학 등 대기업 연구소와 SK-LG칼텍스정유 등 정유업계, 그리고 와우텍, 세티, 퓨어셀 파워 등 연료전지 전문업체들이 이르면 2005년 상용화를 목표로 사업에 참여하고 있다. 삼성종합기술원은 삼성전자 컴퓨터사업부와 공동으로 기존 노트북 PC에 채용된 리튬이온 전지에 비해 세배 이상 작동시간이 긴 연료전지를 개발하고 있다. 또한, 삼성종합기술원은 삼성SDI와 공동으로 메탄올 용액 100cc로 노트북 PC를 10시간가량 구동할 수 있는 노트북

용 DMFC 방식의 연료전지를 개발한데 이어 DMFC 보다 효율이 높고 순간 출력이 강해 가전제품과 자동차에 사용할 수 있는 고분자 전해질 연료전지 (PEMFC) 개발에도 추진하고 있다. LG화학도 내년 까지 상용화가 가능한 연료전지를 개발한다는 목표로 3년 전부터 국책과제의 일환으로 휴대형 연료전지 개발 프로젝트를 진행 중이며, 이르면 2006년부터 연료전지 및 관련 소재를 생산할 계획이다. 벤처기업인 세티도 LG칼텍스정유 및 독일 프라운 호퍼 연구소와 공동으로 2년간의 개발기간을 거쳐 지난해 노트북용 PEMF 시제품을 개발하여 선보였으며, 셀텍도 기존 리튬이온전지에 비해 용량이 최대 10배에 이르는 아연 공기연료전지를 개발하고 있다.

그리고 자동차부분의 응용분야에서 현대 자동차는 산타페를 베이스로 한 전기자동차(EV), 하이브리드 전기자동차(HEV)와 함께 압축수소를 연료로 사용하는 연료전지 자동차(FCEV)를 개발하고 있다. 2000년 이후, 연료전지로 달리는 산타페를 6호까지 개발하였고, 수소를 탱크에 채워 넣고 시속 126km 까지 속도를 내는데 한 번 충전하면 160km까지 주행이 가능하다고 보고하였다. 또한, 현대 자동차는 지난달 출시한 투싼에도 연료전지를 장착할 계획이며, 올해 10월에 최고 속도 시속 150km에 한 번 충전하면 300km 주행을 목표로 하고 있다.

자동차에서 대표적인 난관으로는 열문제로 연료전지가 전기뿐 아니라 열도 만들기 때문이며, 일반 자동차는 엔진에서 발생하는 열을 배기가스와 함께 내보내거나 냉각수를 이용해 식히는 반면, 연료전지 자동차는 배기가스가 없기 때문에 좀 더 강력한 냉각시스템 개발이 필요하다고 평가하였다.

현재 국내의 연료전지 기술개발에서의 특징이라면 에너지용으로보다는 2차 전지 대체용으로 휴대용 연료전지 개발에 치중하고 있다는 점이다. 연료전지 상용화를 목표로 개발이 진행 중에 있으나, 고체 전해질막, 전극, 촉매, 바이폴라 플레이트 등의 핵심소재에 대한 기술개발은 상대적으로 약하다는 점이다. 국내 관련기관과 업체들은 원자재를 수입에 의존하는 경향이 매우 높으며, 국내생산이 전무한 실정이기 때문에 소재개발에 대한 정부나 기업의 참여가 이루어지지 않는다면 실용화와 경쟁력 부문에

있어 커다란 문제점을 가질 것으로 예상된다.

8. 결론

연료전지의 개발 및 실용화를 위해서는 연료전지가 우리에게 가져다주는 경제적 및 기술적 효과가 엄청나게 큰 분야라고 할 수 있다. 연료전지는 전기 화학 반응에 의하여 연료가 갖고 있는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 발전장치로 원리상 열기관이 갖는 열역학적인 제한을 받지 않기 때문에 기존의 발전장치보다 발전효율이 높고, 무공해, 무소음으로 환경문제가 거의 없으며, 다양한 용량으로 제작이 가능하고, 전력 수요지 내에 설치가 용이하여 송변전 설비를 절감할 수 있다는 등 전력계통의 운영 측면에서도 기대가 큰 첨단기술이다.

에너지 절감효과의 측면에서 자동차 기본성능의 향상을 위해서는 연료전지 본체, 개질기, 수소연료 저장, 전체 시스템 등을 통한 효율 및 내구성 등의 향상을 위한 기술개발이 필요하다. 자동차용 연료전지는 지금의 자동차 엔진의 원가수준으로 인하여 하야 하며, PEFC 전해질막 제조를 위한 저가격화를 위해 백금촉매의 사용량을 저감하여 원가를 낮춰야 한다.

연료개발과 인프라의 정비가 필요한데 연료전지의 연료인 수소를 어떻게 제조 및 공급하느냐 하는 것이 연료전지 보급을 위한 인프라 정비와 함께 가장 중요한 과제라고 할 수 있다. 또한, 중요 기술개발의 요소로는 공통적인 요소기술(막, 촉매, 격리층 등)의 개발로 성능향상, 원가인하를 위한 기술개발, 값싼 자재 대체를 위한 기술개발이 필요하고, clean gasoline, GTL 등 액화탄화 수소계 연료의 제조 기술과 개질기술과 수소 저장 등의 기술개발이 요구된다.

특히, 소형 연료전지의 개발과 동시에 시장침투가 원활히 진행되고 단기간에 이루어지기 위해서는 시장진입 초기에 경쟁 전지에 비해 월등한 기술적 인우위를 확보하여야 하고, 경제성 경쟁이 가능한 수준으로 가격을 맞추어야 한다.

참고 문헌

- [1] 박동운, 박창걸, 김은선, "IT용 소형연료전지", KISTI, 2004.
- [2] 전자부품연구원, 소형연료전지 산업동향, 2003.
- [3] 전자부품연구원, 연료전지산업의 동향, 2004.
- [4] 전자부품연구원, 연료전지 산업동향, 2004.
- [5] 전자부품연구원, 연료전지용 고분자 전해질막 및 이의 제조방법, 2003.
- [6] 전자부품연구원, 고체산화물 연료전지 기술동향, 2004.
- [7] <http://nfcrc.kier.re.kr/main.htm>
- [8] <http://fuelcell.kist.re.kr/Teams/FuelCell/01.htm>



성명: 김 광 태

- ◆ 학 력
 - 1984년 경북대 전자공학과 공학사
 - 1987년 경북대 대학원 전자공학과 공학석사
 - 2000년 경북대 대학원 전자공학과 공학박사

- ◆ 경 력
 - 1987년 ~ 1996년 국방과학연구소 선임연구원
 - 1996년 ~ 현재 두원공대 전자과 교수

국방과학연구소 선임연구원
두원공대 전자과 교수



성명: 윤 상 현

- ◆ 학 력
 - 1978년 경북대 전자공학과 공학사
 - 1984년 부산대 대학원 전자공학과 공학석사
 - 1999년 한양대 대학원 전자공학과 공학박사

- ◆ 경 력
 - 1984년 ~ 1994년 삼성전자(주) 선임연구원
 - 1994년 ~ 현재 두원공대 전자과 교수

삼성전자(주) 선임연구원
두원공대 전자과 교수

저|자|약|력



성명: 김 현 후

- ◆ 학 력
 - 1982년 단국대 전기공학과 공학사
 - 1984년 한양대 대학원 전기공학과 공학석사
 - 1988년 Louisiana 주립대 전기공학과 공학석사
 - 1994년 New Jersey 공대 전기공학과 공학박사

- ◆ 경 력
 - 1995년 ~ 현재 두원공대 전자과 교수



성명: 전 준 현

- ◆ 학 력
 - 1990년 경북대 전자공학과 공학사
 - 1992년 경북대 대학원 전자공학과 공학석사
 - 1996년 경북대 대학원 전자공학과 공학박사

- ◆ 경 력
 - 1997년 ~ 현재 두원공대 전자과 교수

