



# 연료전지의 최신기술 동향

에너지자원표준과장 신일섭  
02)509-7276

차세대 에너지 혁명을 주도할 것으로 예상되는 연료전지 실용화가 급진전 되고 있다. 특히 국가적 차원에서 기술개발 경쟁도 치열하여 선진 기업과의 기술 제휴 등 연료전지 핵심기술 확보를 위한 방안이 시급히 요구되고 있다. 이에 본고에서는 연료전지기술의 개요와 향후 연료전지 시장의 전당과 과제 각국의 기술동향 등을 논하고자 한다.

## 1. 연료전지란 무엇인가?

연료전지는 연료(수소, 천연가스, 메탄올, 석탄, 천연가스, 석유, 바이오매스가스, 대립지 가스 등)와 산화제(산소)를 전기화학적으로 반응시켜 그 반응에너지를 전기로 직접 변환하는 전지로 일종의 발전장치라고 할 수 있다. 기존의 발전기술에 비해 90%라는 높은 에너지 효율을 얻을 수 있는 것이 최대의 특징이며, 무공해 즉, NOx와 SOx를 배출하지 않는 발전장치로 공기극(cathode)에는 산소가, 연료극(anode)에는 수소가 공급되어 물의 전기분해 역반응으로 전기화학반응이 진행되어 전기, 열, 물이 발생하게 된다.

### (1) 연료전지의 종류 및 특성

연료전지는 사용하는 전해질에 따라 고온형 연료전

지로 MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell, 용융탄산염 연료전지), SOFC (Solid Oxide Fuel Cell, 고체산화물 연료전지), 저온형 연료전지로 PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell, 인산형 연료전지), PEMFC (Proton Exchange Membrane 혹은 Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, 고분자 전해질 연료전지), DMFC (Direct Methanol Fuel Cell, 직접메탄올 연료전지), AFC (Alkaline Fuel Cell, 알칼리 연료전지)로 구분 되어지며, 이외에 최근 MEMS 기술 등을 활용한 극소형 Micro-fuel cell (마이크로 연료전지) 등이 포함된다. 각 연료전지는 근본적으로 같은 원리에 의해서 작동하지만, 서로 다른점은 연료의 종류, 운전온도, 촉매와 전해질이다.

활용 기술별로는 전극, 전해질, 분리판 등을 제작하는 소재 및 제조 공정 기술, 스택 설계 및 제작 기술, 시스템 설계 및 운전기술 등이 포함되며, 응용제품별로는 대형 발전용, 분산 발전용, 수송용, 이동전원용 등으로 나눌 수 있다.

각 기술별 응용 가능한 분야는 연료전지 기술별로 계속 확대되고 있으며, 아래의 표는 전원 용량 별로 일반적인 응용분야가 가능함을 설명하고 있다.

연료전지의 종류

연료전지형태	전해질	운전온도	발전온도	주연료	적용대상
인산형(PAFC)	인산	200℃	150200℃	천연가스메탄올	분산전원
알칼리형(AFC)	수산화칼륨	80℃	상온100℃	수소	특수목적
고분자전해질형(PEMFC)	이온(H <sup>+</sup> )전도성 고분자 막	85100℃	상온100℃	수소 메탄올	소형전원자동차
융융탄산염형(MCFC)	융융탄산염	650℃	600700℃	천연가스 석탄가스	복합발전 열병합발전
고체산화물(SOFC)	고체산화물	1000℃	7001000℃	천연가스 석탄가스	복합발전 열병합발전
직접메탄올(DMFC)	이온(H <sup>+</sup> )전도성 고분자 막	25130℃	상온100℃	수소 메탄올	소형전원자동차

응용제품별 연료전지

구분	제품종류 (용량)	연료전지					비고
		PAFC	MCFC	SOFC	PEMFC	DMFC	
발전용	지역분산 및 집중 발전 (수십MW 이상)	○	●	●	○	○	
	산업용 (수백kW~수십MW)	○	●	●	●	○	
	상업용 (수kW~수백kW)	●	●	●	●	○	
	주거용 (수백W~수kW)	○	○	●	●	○	
수송용	주동력용 (선박용)	○	●	●	●	○	
	주동력용 (승용, 버스)	○	○	●	●	○	
	보조전원용 (수MW~수십MW)	○	●	●	●	○	
	보조전원용 (수kW~수백kW)	○	○	●	●	○	
이동용	이동전원 (수백W~수kW)	○	○	●	●	●	
	노트북용 (20~수백W)	○	○	●	●	●	
	휴대기기 (5~10W)	○	○	◐	○	●	

● : 적용 중    ◐ : 고려 중    ○ : 가능성 적음



## (2) 연료전지의 장점

1) 저공해 고효율 에너지원이다.

연료전지는 도심지에서의 대기 공해를 환상적으로 줄일 수 있다. 연료전지는 동력원의 시스템 효율이 50% 이상이고(기존 내연기관의 효율은 25% 이하이다), NOx, SOx 등의 유해 가스의 배출이 1% 이하인 청정 고효율 발전 시스템이다.

2) 차세대 에너지원이다.

70년대의 오일쇼크 이래로 선진 각국에서 꾸준히 대체에너지원의 개발에 노력을 경주하여 왔는데, 연료전지는 석유에너지 이외에 메탄올, 에탄올, 천연가스 등의 대체에너지를 이용하여 발전할 수 있다. 따라서 절대적인 자원이 부족한 우리나라의 현실에서 볼 때, 연료전지는 차세대 동력원으로 주목받을 것이다.

3) 새로운 시장 잠재력이 크다

연료전지는 금속, 전기, 전자, 기계 및 제어 산업과 부수적인 장치를 공급하는 새로운 시장이 창조될 수 있다. 이것은 역시 수십만의 전문직 직업을 창조해 낼 수 있으며, 무역 수지에 큰 기여를 할 것이다.

## 2. 국내의 연료전지 기술

연료전지는 우리나라의 기반 산업인 정유사, 가스사와 같은 기존 연료의 인프라 산업, 2차 전지 산업, 나노기술 관련, 자동차 산업, 전력 산업, 전자기기 산업, IT 산업, 부품소재 산업과의 연관성이 매우 높으며 신규 고용의 창출 효과가 높아 2012년경에는 우리나라의 대표적인 기반 주력산업으로 성장할 것으로 예상된다.

우리나라의 현재 연료전지기술 수준은 1980년대부터 시작된 연구개발 투자의 결과 대부분의 연료전지 종류에 있어 기반기술은 확보한 상태이며 연료전지

산업의 기반이 되는 시스템, 생산기술 등 주변 산업 기술의 수준이 높아 연료전지의 핵심이 되는 스택기술과 기본 부품의 생산기술의 조기 확립, 정부가 적극적으로 실증시험 일정을 앞당긴다면 충분히 주도력을 발휘할 수 있는 가능성이 있다.

우리나라는 아직 연료전지를 상품화를 시키지 못하고 연구개발 단계 또는 시작품 제작 수준에 있어 일본, 미국 등 선진국에 비하여 약간 뒤진 상황이다.

## 3. 국외의 연료전지 기술

### 3-1. 일본, 중국 및 구미지역의 연료전지시장 현황 및 전망

#### 3-1-1 일본시장의 현황 및 전망

'90년대 초 캘리포니아주 ZEV규제 발효에 따른 자동차용 연료전지를 중심으로 기술개발이 본격화되어 2000년대에 들어서 전력시장 자유화에 따른 가정용 연료전지 개발보급이 활성화 되었다. 이에 따라 일본은 연료전지관련 예산을 2001년에 119억엔에서 2005년에는 355억엔으로 증액하였다. 2002.12부터 연료전지 시판이 개시되어 토요다는 2002.12 일본에 4대, 미국에 2대를 납품하였고, 혼다는 2002.12 내각 및 토스엔첼리스시에 납품을 시작으로 2~3년간 일본, 미국에 30대정도 한정판매 계획에 있다. 닛산은 2004.3 코스모 석유에 납품 후, 2004.4 가나가와현 및 요코하마시에 납품하고 있다.

그러나, 연료전지가 본격적으로 자동차의 구동원이 되는 것은 시기상조로 일반에 FCEV를 판매하려고 생각하고 있는 메이커는 아직 없고, "다가올 시기를 위한 준비나 "환경기술경쟁"을 위한 수준에서 대응하고 있다. 대당 1억엔 이상인 FCEV는 가격조정이 어렵고, 차량에 있어 환경 대책은 하이브리드 자동차가 중심이 되고 있다. FCEV는 가격이 비싸 2010까지는 일반판매를 생각하기 어렵기 때문에 자동차용

연료전지의 생산대수는 적지만, 기술개발에의 투자는 매우 커서 현재 연료전지 개발 시장을 지탱하고 있다. 2003년 일본의 고정형 연료전지용량 시장은 약60대/년으로 PAFC(인산형 연료전지) 시장이 감소하고, MCFC(용융탄산염형 연료전지)의 도입이 진행되고 있다. 대수로 보아도 PAFC(Phosphoric Acid Fuel Cell, 인산형 연료전지) 시장은 감소하고, PEMFC(고분자전해질형 연료전지)가 압도적으로 많다. 일본의 가정용 PEMFC는 효율면에서 상용기준을 만족하고 있어, 2005년부터 PEMFC의 시판개시와 모니터사업실시에 따라 PEMFC 시장이 확대될 전망이다.

일본에 있어 가정용 연료전지 시장은 2010년 5만~15만대/년으로 예상된다. 가정용 연료전지는 고가적이고, 도입 시 보조금 등 보급지원에 의존한다. 보조금에 의한 보급 선행사례인 태양광발전 시스템 보조금 추이에서 보면, '10년에 5만대/년으로 추정되며, 전기온수기의 보급추이에서 추정하면 연료전지 시장은 '10년에는 15만대/년이 될 전망이다.

최근 휴대기기용 연료전지 분야에서 일부업체(도시바 등)는 메탄올 Cross over를 억제하고, 고농도 메탄올을 연료로 이용하는 것이 가능한 DMFC개발에 성공하여 2차전지나 캐패시터와 하이브리드 전원시스템을 구성하는 것이 향후전개 방향으로 예측되고 있다.

휴대기기용 연료전지 시장의 현황을 살펴보면, 휴대전화기에 연료전지를 활용 하므로써 업무용 어플리케이션에 연료전지를 탑재하여 RFID tag reader 등 업무용 휴대기기 및 업무용 PDA에 적용하고 있으며, 충전기 또는 전원으로서의 연료전지 형태로 응용될 것이다. 일부에서는 휴대기기용 연료전지 판매가 '05년경부터 개시 될 수 있다고 예측하지만, 본격적인 판매는 '07년 이후가 될 것이다. 그 이유로는 메탄올의 항공기내 휴대에 관한 규제영향이 있어 '07년 이후에 휴대기기용으로 본격적인 시장형성이 예측되어, 직·

간접적으로 휴대기기용 연료전지의 상품화 시기를 늦추게 하는 요인으로 작용되고 있다.

휴대기기용 연료전지 실용화에 대한 장애요인은 최종사용자의 허용성(연료카트리지 등 비용추가에 대한 채택여부), 어플리케이션의 허용성(개방형 전원의 채택여부), 가격, 법규제, 출력밀도 등을 들 수 있고, 현재의 백금계 촉매 사용 시 2차전지와 경쟁력을 확보하기 어려운 상황이다. 그러나 최근 히타치맥스웰은 가격이 백금의 1/10~1/100정도인 산화몰리브덴계 촉매로 한 제품개발을 발표하였다.

휴대기기용 연료전지 세계시장을 낙관적으로 보면, 2010년에 약 600억엔 규모로 예상된다. 시장진입은 휴대기기용 중에서도 민생용보다 업무용이 우선적으로 개발 될 것으로 예측되고, 제품개발 진척이 늦어지면 상품형태는 내장형이 아닌 전원·충전기 등으로 될 것이다.

항공기 기내반입 규제의 영향이 있어 휴대기기용으로 본격적인 시장형성은 '07년 이후가 될 것이다.

가정용 연료전지 세계시장은 '10년에 약 1,400억엔 규모로 예상되며,

자동차용 연료전지 세계시장은 '10년에 약 240억엔 규모로 예상된다.

### 3-1-2. 유럽 및 미국지역의 연료전지시장 현황 및 전망

연료전지 분야는 북미 및 일본이 강하고, 유럽이 상대적으로 약한 추세이며 기타 지역에서의 관심이 증대되고 있다. 일본은 수요시장이 형성되어 있고, 정부의 강력한 지원이 뒷받침 되고 있으며, 중국과 카나다는 정부지원이 있으며, 카나다는 클러스트가 형성되어 있다.

미국은 연방 및 지방정부의 관심이 크며, 특히 국방부 지원이 크고, 유럽은 역내 환경협약의 영향이 큰 상황이다.



유럽지역의 강점으로는 CUTE와 같은 대형프로젝트 실시, 자동차 회사 참여, CMR Fuel Cells 등 관련 요소기술 보유회사 다수, 재료 분야기술 확보, 신재생에너지에 대한 관심 고조, 대학의 연구활성화 및 역내 환경협약 등을 거론 할 수 있다

유럽지역의 약점으로는 스택제조분야 열세, 휴대용 연료전지분야 열세, 적은 제조회사 수, 지역 국가와 EU재정 간의 부조화 및 단편적인 시장 등을 들 수 있다. 기술 분야별 유럽지역의 현황을 살펴보면, PEMFC(고분자전해질형 연료전지)는 강하고, SOFC(고체산화물형 연료전지)에는 비교적 관심을 가지고 있으며, DMFC(직접에탄올형 연료전지)는 평균이하의 형태를 가지고 있다.

유럽지역의 정부지원형태는 그린하우스, 연료의 다양화, 연료의 안보적 관점 및 일자리 창출 등 경제적 효과 측면에서 매우 높은 관심을 가지고 있으나, 연구 중심으로 지원을 하고 있고, 책임을 지는 중앙조직이 없는 실정이다

유럽 각국의 기술수준 현황을 살펴보면 다음과 같다. 독일은 연료전지산업 전반에 걸쳐 잘 발달되어 있고, 영국은 일부 분야에 강점을 가지고 있다. 스칸디나비아 지역에서는 환경적인 이유로 수소에 대한 관심이 매우크며, 프랑스 및 이탈리아 등에서도 약간의 활동이 있으나 아직 제한적이다.

전반적으로 볼 때 단일화된 산업이 형성되지 못하였고, 추진체계가 미흡한 상이다

유럽지역의 연료전지 산업의 미래를 예측하면 목표와 재원측면 보다는 통합화된 에너지정책 추구하고, 고성능 연료전지 실증프로젝트를 수행 할 것이다. 자동차 분야는 계속 각국이 개별관리할 것이며, 자동차 메이커로부터 보다 많은 사업 참여가 예상된다. 독일은 계속해서 선도적 역할을 수행할 것이며, 타 지역과의 국제협력에 대한 관심이 증대될 것이다. 또한 PEMFC(고분자전해질형) 분야와 SOFC(고체산화물형)분야 간의 기술개발 경쟁 예상된다

미국의 연료전지 산업은 DOD와 DOE로부터 강력한 지원 및 국방 분야 예서의 큰 관심을 가지고 있고, 자동차 회사의 참여 및 연료전지 관련 중소기업이 많은 실정이다. 또한 UTC 등과 같은 대기업과, MTI Micro Fuel Cell과 같은 연료전지 전문회사가 다수 있어, 많은 주정부들로 부터의 지원체계가 잘 구축되어 단일시장 형성이 가능하다.

그러나 미국의 연료전지 산업은 환경문제 대응에 대한 구체적 일정이 없고, 많은 기업들이 국방분야의 지원에 의존하고 있는 실정이다. 자국내 연료전지 산업현실에 자아만족하고 있고, 연료전지 산업에의 집중도가 떨어지고 다른 에너지 가격이 저렴하여 실증 단계에서 실제 상품화로의 이행이 잘 되지 않는 약점을 가지고 있다.

그러나 미국은 대통령이 수소· 연료전지분야에 적극적인 관심을 표명하고 있으며, 에너지 안보차원에서 관심이 매우크다.

미국 주정부의 연료전지산업 분야 주요 지원현황은 살펴보면, 캘리포니아주가 미국 내에서 환경문제 대응에 있어 주도적 역할을 하고 있으며, 가장 큰 시장을 이루고 있다 코네티컷주는 연료전지산업이 가장 잘 집중화된 지역이며, 오하이오주는 적극적인 재정 지원과 함께 산업화 및 인력양성에 집중하고 있으며, 기타 다른 주에서도 관심이 커지고 있다

미국의 연료전지 산업의 미래는 수소인프라의 대대적 확대, 자동차분야에 대한 국가적 관심 지속, 지역 발전 시스템에 대한 관심 증대, 관련 산업의 합리화 추진, 국방분야의 지속적 관심이 계속될 것으로 예측할 수 있다

### 3-1-3. 태동하는 중국의 연료전지시장

중국은 1994년을 경계로 에너지소비가 에너지생산을 앞지르기 시작했으며, 그 격차가 급속하게 증가하는 추세를 보이고 있다. E한 '02년 원유 부족분이 1 억톤을 넘어섰고, 전력부족 현상 및 CO<sub>2</sub> 방출량도

미국과 더불어 세계최고 수준으로 에너지 소비율이 에너지생산을 앞지르기 시작했으며, 그 격차가 급격하게 증가하는 추세를 보이고 있다

중국의 연료전지분야의 국가기술개발은 MOST(Ministry of Science and Technology), CAS(Chinese Academy of Sciences) 및 NNSF(National Nature Science Foundation of China)의 지원 하에 수행 되고 있다.

국가프로그램으로 National Basic Research Program(973 Program)과 National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)으로 운영되고 있는데, 973 Program은 1997년부터 MOST에 의해 운영되고 있는 기초연구 프로그램 이다

973 Program중 수소연료전지와 관련된 프로젝트는 "Fundamentals of Large Scale Production, Storage and Transportation of Hydrogen and Related Fuel Cells"이며, 863 Program은 1986년부터 MOST에 의해 주도적 운영되고 있고, 에너지분야를 포함한 전체 8개분야 20개 연구토픽이 포함되어 있다. 중국의 연료전지 관련 연구는 30년 전에 알칼리 연료전지를 시작 하였으며, 현재는 주로 PEMFC(DMFC), SOFC 및 MCFC를 연구하고 있다

Miniwatt PEMFC(50w-2kw)은 휴대용 기기나 자전거에 적용되고 있으며, DMFC 연구의 경우 4개 연구그룹에 MOST 863 프로그램으로 지원중 이다. 40kw급(saloon car) 및 100kw급(carriage) PEMFC는 에너지출력밀도 100w/kg으로 차량에 적용되고 있으며, 1kw급 MCFC는 '01년 상해 Jiaotong대학에서 개발되었고, 1kw급 MCFC도 개발되고 있다. 800w급 SOFC도 CAS산하 상해 세라믹연구소에서 '01년 개발되었고, 5kw급 SOFC스택이 연구 중에 있다.

중국은 현재 연료전지관련 규격 4종(PEMFC

Glossary, PEMFC Stack, Portable PEMFC System, Stationary PEMFC System)를 제정 중에 있다

중국은 총 3단계 (1단계( ~ 2020) : R&D 집중, 2단계( 2020 ~ 2050) Marketing, 3 단계( 2050 이후) : Hydrogen epoch)에 걸쳐 수소경제사회로 진입하려는 계획을 수립하고 있다.

중국의 연료전지 산업 관련 통계는 다음과 같다

중국의 연료전지 자동차보급전망

구분 \ 년도	2010	2020	2030
운행차량(만대)	5,000	8,000	30,000
연료전지 차량비율(%)	-	5	50
연료전지 차량수(만대)	-	400	15,000
총비용(백만\$)	-	18,000	675,000

\*45\$/kw, 100kw연료전지 엔진의 경우 4,500\$/car

중국의 분산형 연료전지 발전시스템 보급전망

구분 \ 년도	2010	2020	2050
발전용량(GW)	6	1,000	4,000
연료전지 발전비율(%)	0.01	5	40
연료전지 발전용량(GW)	0.06	50	800
가격(\$/kw)	750	600	400
총비용(백만\$)	45	30,000	640,000



중국의 연료전지휴대폰 생산전망

구분 \ 년도	2002	2005	2010	2020	2050
휴대폰수(백만대)	121	161	259	472	865
연료전지 휴대폰비율(%)	0	0	2	30	80
가격(\$/연료전지)	-	-	30	25	20
총비용(백만\$)	-	-	155.4	3,540	13,840

중국의 연료전지 미래시장 전망

구분 \ 년도		2010	2020	2050
발전소	발전소분산형 발전소	45	30,000	640,000
차량용	연료전지 자동차	0	18,000	675,000
	연료전지 자전거	11	700	3,756
	연료전지 모터차량	48	4,300	23,160
	합계	59	23,000	701,916
휴대용	연료전지 UPS	13.6	310.5	2,300
소형전자기기	연료전지 휴대폰	155.4	3,540	13,840
	연료전지 노트북	37.7	841.5	9,056
	합계	193.1	4,381.5	22,896
총 비용(백만\$)		310.7	57,692	1,367,112

#### 4. 향후 대응방안

연료전지산업의 우리나라의 수준은 재료, 스택, 계측장비, 연료개질기, 연료전지제품 등 연료전지 전 기술 분야에 걸쳐 기반이 구축된 일본 및 선진국에 비하여 뒤져 있는 것은 상황이다

그러나 연료전지산업은 수소에너지 산업과 더불어 반도체 및 디스플레이 산업에 이은 차세대 주력산업이 될 것으로 확신한다.

따라서 연료전지산업의 발전을 위하여 실증시험, 규제의 재검토, 규격 국제 표준화를 포함하여 성능향상 및 저가격화를 위한 기술개발에 주력하고, 수소에너지 개발 및 연료전지 보급 공급체계를 정비하여 우선 정부 조달 사업을 통하여 연료전지 보급을 실시하면서 민간주도의 시장으로 확대 하여야 할 것이다

국내·외 연료전지분야는 발간된 규격은 모듈(IEC 62282-2) 1종 밖에 없는 상황이므로, IEC TC105의 WG의 규격개발 단계에 대응하여 KS규격을 개발하고, 국제규격 제정과정에 적극적으로 우리의 입장을 반영한 국제규격(안)을 도출 하므로써 향후 상품화가 추진되는 소형연료전지 등을 중심으로 유럽·미국·일본 위주의 주도권 확보 경쟁에 대응할 수 있는 국내 관련 산·학·연의 기술 선진화가 필요하다.

또한 연료전지는 모듈화(규격화)하여 대기업 중심의 종합형 개발에서 중소기업 중심의 분업화 사업으로 육성할 필요성이 요망 된다. **표준**