

연료전지 발전 시스템의 최근 기술 동향



고 영 태

(부식 및 신에너지 연구실
실장)

- '75.3-'79.2 서울대학교 공과대학(학사)
- '79.3-'81.2 서울대학교 대학원(석사)
- '84.7-'88.9 Pennsylvania State Univ(박사)
- '88.10-'90.11 Pennsylvania Transportation Institute
(Research Associate)
- '90.12-현재 한국가스공사 연구개발원



이 진 홍

(연구개발원 부원장)

- '67.3-'71.2 서울대학교 공과대학(학사)
- '87.6-'89.7 Texas A&I Univ.(석사)
- '85.1-현재 한국가스공사 연구개발원

1. 연료전지 발전 시스템의 기본 원리 및 특징

1.1. 연료전지의 기본 원리

연료전지는 반응 물질이 갖고 있는 화학적 에너지를 연소라는 과정을 거치지 않고 직접 전기적 에너지로 변환시키는 장치이다. 이러한 에너지 형태의 변환이 전기화학적 반응에 이루어진다는 점에서는 현재 광범위하게 사용되고 있는 배터리류와 동일하지만, 연료전지는 전지의 구성요소 혹은 전지 내에 비축된 재료는 일체 반응에 참여하지 않는다는 점에서 단순한 에너지 변환장치이다. 그러므로 연료전지가 작동되기 위해서는 외부로부터 적절한 연료의 공급이 이루어져야 하며, 연료의 공급과 함께 반응생성물이 제거된다면 지속적인 발전이 가능하게 된다.

에너지 형태의 변환을 위해 일어나는 연료전지에서의 반응은 물의 전기분해반응($H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2} O_2$)의 역반응으로서 외부에서 공급되는 연료(수소)와 공기 중의 산소가 반응하여 전기와 물이 생성되는 반응이다(그림 1 참조)[1]. 실제 연료전지에서 수소는 천연가스, 메탄올, 석탄가스 등 탄화수소 계열의 화석 연료로부터 개질 반응을 통하여 공급된다. 연료전지는 사용되는 전해질 및 작동 온도에 따라 여러가지의 형태가 있으며, 표 1에 그 특성 및 장·단점 등을 요약하여 나타내었다.

연료전지를 이용한 발전 시스템의 구성을 위해서는 그림 2에서 보는 바와 같이 연료개질장치

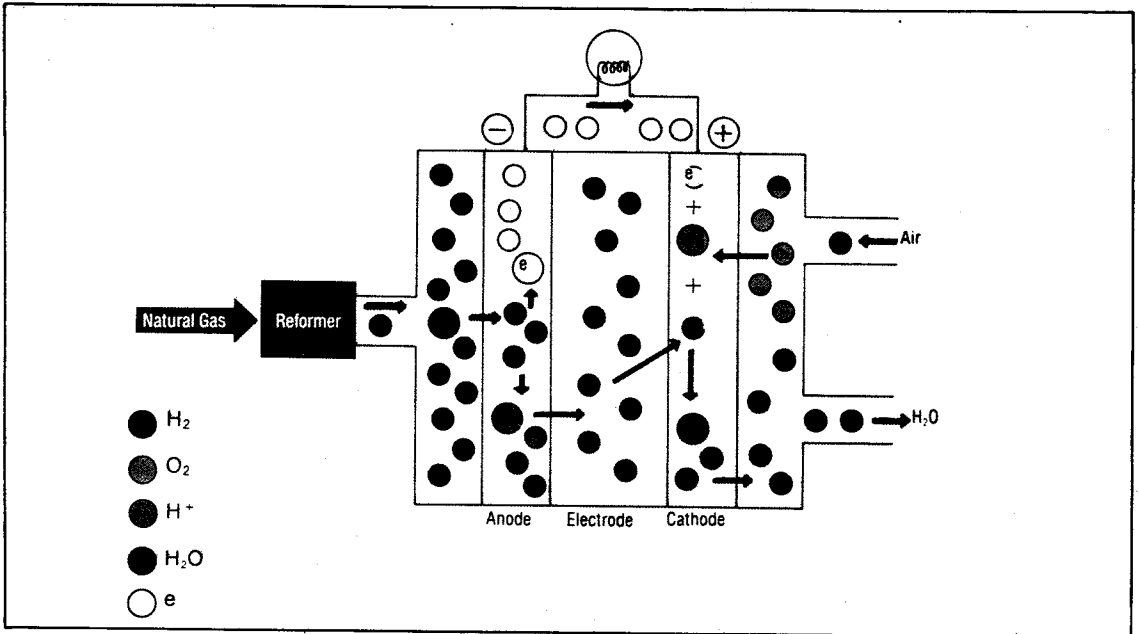


그림 1. 연료전지의 발전 원리

표 1. 연료전지의 종류 및 특성

	전 해 질	작동온도	연 료	장 점	단 점
폴리머 전해질형 연료전지 (PEMFC)	이온전도성 폴리머	상온~100°C	H ₂	-부식 및 재료 선택의 문제가 거의 없음 -취발성 전해질 처리 문제가 없음 -cell 제작 및 운전이 용이함	-H ₂ O 처리가 어려움 -Pt 함량이 높아야 함 -폴리머의 가격이 비쌈
알카리형 연료전지 (AFC)	용융 KOH 또는 KOH in asbestos	상온~260°C	순수 H ₂	-속도론적으로 매우 우수함 -귀금속 촉매가 불필요함 -매우 발전되어 있는 기술임	-연료 중 CO ₂ 함량이 없어야 함 -대용량화가 어려움
인 산 형 연료전지 (PAFC)	인 산	180~210°C	H ₂	-실용화가 가까운 기술임 -CO ₂ -rejecting 전해질	-CO 허용치가 매우 낮음 -산소환원반응의 속도가 느림 -전해질의 전기전도도가 낮음
용융 탄산염형 연료전지 (MCFC)	용융탄산염	600~700°C	H ₂ , CO	-연료로서 CO 사용 가능 -연료의 직접 개질이 가능 -양질의 폐열 회수가 가능	-수명에 미치는 재료 선택의 문제 -연료 중 유황 성분이 낮아야 함 -음극반응에 CO ₂ 가 필요
고체 전해질형 연료전지 (SOFC)	안정화 지르코니아	800~1000°C	H ₂ , CO 탄화수소	-최고의 효율 -CO ₂ 의 재사용이 가능 -전해질 처리문제가 없음 -양질의 폐열 회수가 가능	-제작 비용이 매우 비쌈 -작동온도가 높아 재료 선택의 문제가 있음 -전해질의 전기전도도가 낮음

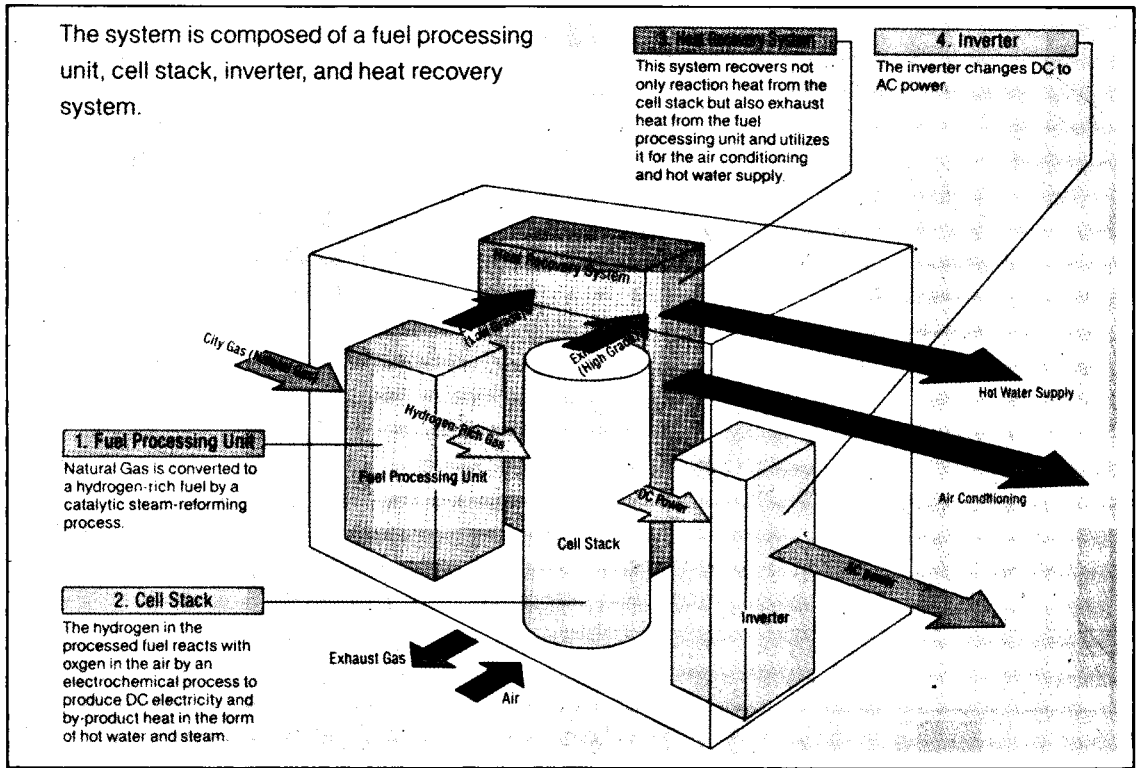


그림 2. 연료전지 발전시스템의 구성도

(fuel processing unit), 스택(cell stack), 전력변환기(inverter) 및 열회수장치(heat recovery system) 등이 필수적이다. 연료개질장치에서 탄화수소는 H₂-rich 상태의 연료로 개질되어 연료전지 본체인 스택에 공급된다. 스택은 이상에서 설명한 반응에 의해 DC 전기를 생산하게 되는데, 이 때의 반응은 발열반응으로서 반응열을 회수하여 일부는 개질 장치에 공급할 뿐 아니라 열병합발전에 이용하게 된다. 스택에서 생산된 전기는 전력변환기에서 AC로 바뀌어 상용 전력화 된다.

1.2. 연료전지 발전기술의 특징[2]

연료전지 발전은 기존의 기술(diesel generator, gas turbine)이나 최근의 기술(gas-regenerative turbine, atmospheric fluidized bed boiler)들보다 매우 우수한 특성을 갖는 미래의 발전기술이다. 발전 기술로서의 연료전지의 가장 큰 장점은 발전 효율이 높다는 점이다. 연료전지는 전기화학적 장

치로서 에너지변환 시 열기관이 갖는 carnot limit의 한계를 극복할 수 있다. 실제로 원자력(30~33%), 석탄(33~38%), 석유(34~40%), 천연가스(30~40%)를 이용한 thermal power plant의 발전 효율[3] 보다 천연가스를 이용한 연료전지의 경우는 40~60% 정도로서 매우 높은 효율을 기대할 수 있다.

최근에 대두되고 있는 환경문제라는 측면에서도 연료전지는 주목받는 발전기술이라고 할 수 있다. 특히 대기오염의 주 원인이 화석연료-연소형 발전과 자동차 등의 내연기관으로부터 배출되는 CO₂, SO_x, NO_x 및 분진인 점을 감안할 때, 이러한 물질들의 배출량이 현저히 적은 연료전지 발전은 매우 우수하다 하겠다. 참고로 발전에 따른 공해 물질 배출량을 표 2에 비교하였다. 연료전지는 대기공해 뿐 아니라 소음, 열공해도 거의 유발하지 않는다.

이상에서 살펴 본 기술상의 장점 이외에, 연료전지는 설비 구성상의 많은 장점을 가지고 있다. 이러한 설비 구성상의 장점은 연료전지의 모듈성

표 2. 발전설비에서의 공해물질 배출량 비교
(kg/1,000kWh)[4, 5]

Contaminant	TYPE OF POWER GENERATION			
	Gas	Oil	Coal	Fuel Cell*
SO _x	-	3.35	4.95	0.000046
NO _x	0.89	1.25	2.89	0.031
Particulates	0.45	0.42	0.41	0.0000046

*natural gas fueled fuel cell

(modularity) 때문이다. 연료전지는 모듈형태가 가능하므로 기기장치의 탈착이 손쉬워 소요 전력량에 맞춘 발전 규모의 조절이 언제든지 가능하다. 더우기 설치 공간이 매우 작고 설치 기간이 짧아서 대도시 등의 밀집지역에 알맞는 발전 방식으로 평가되고 있다. 이 밖에도 우수한 부하 추종성, 효율과 발전량의 비선형적 관계 등도 연료전지가 갖는 장점이다.

이상에서 살펴보았듯이 연료전지는 매우 우수한 발전 기술이나 현재 극히 제한적인 규모로만 이용되고 있는 실정이다. 기술상 상용화에 가장 가까운 인산형 연료전지의 경우에도 생산원가(2,500 \$/kW) 및 설비수명(40,000 시간) 등의 이유로 아직 경쟁력을 갖추고 있지 못한 실정이다. 따라서 최근의 연료전지 연구개발 방향도 이러한 문제점의 해결방안에 초점이 모아지고 있는 바, 이하에서는 국내·외의 연구개발 현황을 간단히 설명하고자 한다.

2. 외국의 기술개발 동향

2.1. 개발배경

연료전지 최초의 실용화는 1960년대 말에서부터 시작된 유인우주선 계획이다. 이때의 연료전지는 알카리형 연료전지가(Apollo and Space Shuttle Program) 주종을 이루었으며, 폴리머 전해질형 연료전지도(Gemini Program) 개발되었다. 우주선에서 연료전지는 만족할 만한 작동을 하였으며, 1960년대 말부터는 지구상에서의 대체 발전기술로서 본격적으로 연구되기 시작하였다. 연료전지

기술개발에서 선두 주자는 미국이었으며, 일본은 1972년부터 연구개발을 시작하였다. 현재 본 기술의 주류는 미국과 일본에 의해 주도되고 있으며, 유럽국가들은 1980년대에 들어서 특수용도의 연료전지(예: 독일 Siemens의 수중 연료전지) 개발 노력을 시작하였다. 우리나라의 경우는 1986년부터 인산형 연료전지를 중심으로 연구가 시작되어, 현재는 매우 활발한 개발 노력이 이루어지고 있다.

현재 세계적인 기술개발 추세는 인산형 연료전지에 대한 cell 구성, stack구성 등의 개발연구가 병행되고 있는 실정이다. 전기자동차 등에 이용될 풀리머 전해질형 연료전지는 극히 최근에 미국에서 시작되어 stacking 단계에 와 있으며, 그 실용화를 눈앞에 두고 있다. 본 장에서는 일반 발전기술로서 실용화 단계에 가장 근접한 인산형 연료전지를 중심으로 미국, 일본, 한국에서의 기술개발 동향을 자세히 소개하고자 한다.

2.2. 국외의 연료전지 기술개발 동향

연료전지 최초의 실용화로 기록되고 있는 폴리머 전해질형 연료전지는 1960년대 중반에 General Electric Co.에 의해 제작되었다. 이 연료전지는 전해질 폴리머로서 polystyrene sulfonic acid를 사용하였는데, 이 재료는 전기전도도가 불량할 뿐 아니라 고온에서의 안정성이 문제가 되어 만족할 만한 성능을 보여주지는 못했다. 1980년대에는 동형의 연료전지에 대한 연구가 재개되어, Dupont사의 NAFION이나 Asahi chemical사의 fluorinated 폴리머 등이 전해질로서 대체 이용되므로써 매우 좋은 결과가 얻어지고 있다. 1990년대의 연구에 의하여 백금함량을 종래(0.4 mg/cm²)의 1/10 정도로 낮춘 조건에서도 기존의 성능을 발휘할 수 있는 전해질-전극 접합기술이 개발되어[6], 미래형의 움직이는 전원(movable power source) 기술로서 각광받고 있다.

1960년대 말부터 현재까지 유인우주선에 사용되고 있는 연료전지는 알카리형 연료전지이다. 1960년대 말에 시작된 Apollo program의 경우 Pratt & Whitney사가 제작한 110 kg형의 전지가 사용되었다. 이 전지에서는 85%의 용융상태의 KOH가

사용되었으며 6 psia, 260 °C의 작동조건에서 1.42 kW(27~31 V)의 성능을 나타내었다. 현재 진행 중인 Space Shuttle Program에는 IFC-UTC가 연료전지를 공급중이며, 이 전지는 무게가 91 kg으로서 35% KOH가 함침된 asbestos matrix를 사용하고 있다. 이 전지의 작동 조건은 60 psia, 80~90 °C이며 성능은 12 kW(27.5 V)이다[7].

알카리형 전해질은 산성 전해질보다 음극에서의 산소 환원 특성이 우수하여 전력 밀도가 우수한 전지를 구성할 수 있다. 그럼에도 불구하고 최근의 연구는 기존의 촉매(양극: Ni, 음극: NiO)보다 우수한 촉매(양극: Pt-Pd, 음극: Au-Pt) 개발이나, cell 구성 시 반응생성물인 물이나 열의 제거 방안에 초점이 모아지고 있다. 발전단가를 낮추기 위한 노력의 일환으로서 carbon based 전극(기존의 전극은 Ag-plated Ni screen을 사용함)이나 bipolar plate를 사용하거나, 순수한 산소 대신 공기를 사용할 수 있는 전지의 개발이 연구되고 있다. 독일의 Simens와 벨기에 등에서는 특수용도(underwater 혹은 transportation)의 알카리형 연료전지 개발노력이 시작되고 있기도 하다.

일반 발전기술로서의 연료전지 기술개발은 1967년 시작된 TARGET(Team to Advanced Research on Gas Energy Transformation) 계획부터이다. 이 계획의 목표는 이미 우주에서 성공한 연료전지 기술을 지구상에서 실용화(terrestrial application) 하기 위한 것이었다. 따라서 대상기술도 주거용, 상업용으로 적합한 인산형 연료전지가 선정되었으며 규모도 기존의 10 kW 미만을 지양하여 대용량화가 추진되기 시작하였다. TARGET 계획에는 UTC(지금의 IFC) 이외에 28개의 가스 및 전기 회사들이 참여하였으며, 1976년에는 가스전문 연구단체인 GRI가 참여하였으며, 1977년에는 DOE, 1979년에는 EPRI 등이 합류하여 현재까지 인산형 연료전지의 연구를 계속하고 있다.

TARGET 계획의 첫번째 수확은 12.5 kW급(PC-11)의 연료전지를 개발하고 이를 60기 제작하여 미국, 캐나다, 일본 등지에서 운전 특성을 시험한 것이었다. PC-11은 UTC에서 제작하였으며, 특성시험의 대부분은 가스회사들이 담당하였다. 이 시험의 결과 연료전지 기술의 우수성이 재확인

되었으며 대용량화의 문제점으로 지적되었던 전해질 보충, 가스공급의 균일화, 냉각방식, 운전제어 등의 문제점이 개선 또는 해결되었다. 민간 부분의 의해 주도되었던 TARGET 계획의 이러한 수확은 정부(DOE: 에너지성)의 적극적 지원을 유발하였다. 1977년부터 시작된 DOE 주도의 국가사업으로서 열병합발전용의 40 kW급 인산형 연료전지(PC-18)의 개발이 이루어졌다. 1986년에 종료된 DOE 주도의 사업에서는 46기의 PC-18이 UTC/IFC에 의해 제작되어 미국과 일본의 가스회사들에 의해서 운전되었다. PC-11과 PC-18은 연료전지의 제작 및 운전에 관한 많은 know how를 양산하였고, 향후 발전기술로서의 활용을 위한 기술상의 문제점들도 제기되었다. DOE는 이러한 know how의 보존과 문제점 해결을 위하여 Fuel Cell ARTD(advanced research & technology development) program을 1983년에 시작하여 최근까지 수행하였다.

인산형 연료전지는 현재 200 kW급(PC-25)이 IFC가 설립한 ONSI사에 의하여 제작 판매되고 있다. PC-25는 천연가스를 연료로 하는 열병합 발전기로서 전기효율 36%, 전체효율 85%의 성능과 함께 40,000 시간의 연속운전이 가능한 최첨단 시스템이다. 상용화에 성공한 최초의 연료전지인 PC-25는 1991년에 최초의 제품이 출하된 이후로 1992년 10월 현재 약 20 여기가 미국, 유럽, 일본 등에서 운전되고 있으며, 한국가스공사도 도입계약을 체결하여 1993년 8월에 인도, 설치 운전될 예정이다.

인산형 연료전지기술에서 특이한 기술 동향은 MW급의 대용량 발전기술이다. 이러한 대용량 기술은 모두 kW급의 연료전지 기술에 근간을 두어 추진되고 있다. 이러한 보기로서 Westinghouse의 7.5 MW 연료전지는 20개의 375 kW 연료전지로서 구성되어 있다. 이처럼 연료전지는 모듈화가 가능하므로 전력 수요에 따라 설비용량을 조절할 수 있는 장점이 있음은 주지의 사실이다. 최근에는 11 MW급 연료전지 설비(PC-20)가 미국의 IFC에 의해 제작되어 일본에 설치되어 발전설비로서의 신뢰도 시험을 위하여 가동되고 있다. 이러한 대용량의 연료전지들은 일반적으로 가압상태에서

표 3. 대용량 인산형 연료전지 발전 기술 비교

Developer	Capacity	Operation Pressure	Cooling method	Application
IFC* ¹	11 MW	8.2 atm	water	electric utility
IFC* ²	200 kW	1 atm	water	on-site
IFC* ³	11~25 MW	8.2 atm	water	electric utility
Westinghouse* ¹	7.5 MW	4.8 atm	air	electric utility and industrial

*1. sited at Goi, Japan

462 cells of 1 m² active area

164 mW/cm²(0.76 V at 215 mA/cm²) after 500hrs

*2. 308 cells of 0.3 m²

140 mW/cm²(0.65 V at 215 mA/cm²) after 550hrs

*3. unit cell area=0.45 m²

242 mW/cm²(0.75 V at 323 mA/cm²) after 500hrs

*4. consists of twenty 375 kW cells

187 mW/cm²(0.70 V at 267 mA/cm²) after 400hrs

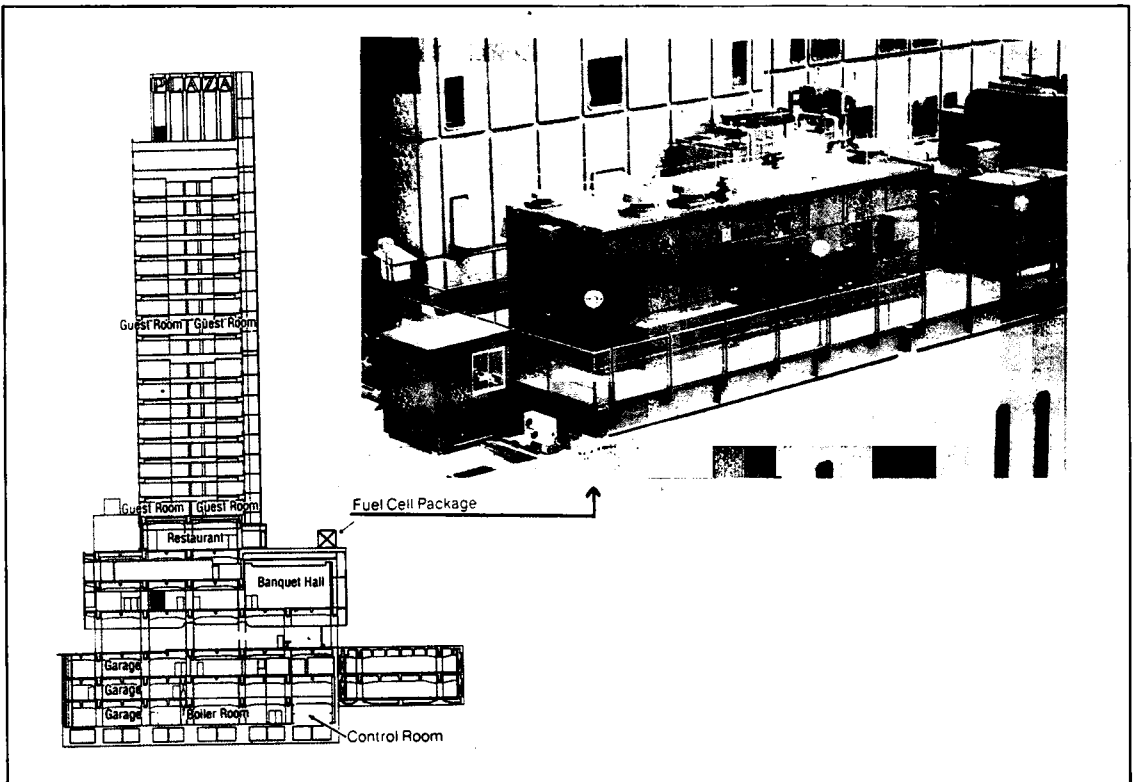


그림 3. 플라자호텔에 설치된 200 kW급 인산형 연료전지

운전되며 냉각을 위한 manifold를 설치하는 등 새로운 기술이 추가되고 있는 추세이다.[8] 상용화에 근접해 있는 대용량 인산형 연료전지 기술들을 표 3에 요약하였다.

일본에서의 연료전지 기술 개발은 1972년부터 미국의 TARGET 계획에 동경가스회사와 오사카가스회사가 참여하면서부터 시작되었다. 이후 일본은 미국에서 개발된 기술들을 도입하여 빠른 기술축적에 성공하였다. 특히 일본은 미국에서 연구된 기술들을 이용한 연료전지 제작에 많은 개발비를 투자하여 왔으며, 개발된 신제품을 우선적으로 도입하여 운전하는데 주력하였다. 그 한 예로서 Toshiba사는 설비투자 등으로 PC-25를 제작 판매하는 ONSI사에 자본 참여함으로써 연료전지 최초의 상용화를 가능하게 하였으며 최근에는 일본 내 자체 생산을 준비하고 있다.

이 후에 일본은 정부주도의 자체연구에 착수하여 1973년의 Sunshine계획, 1981년의 Moonlight 계획 등을 수행하면서 실용화 개발을 적극 추진하고 있다. Moonlight 계획은 인산형 연료전지의 실용화 촉진을 목적으로 수행하고 있으며, 그 결과 200 kW급 열병합 시스템을 오사카의 플라자 호텔과 우메다 쇼핑센터 등에 설치하여 10,000여시간 동안 성공적으로 운전하였다(그림 3). 열병합을

위해 흡수식 냉온수기를 설치하여 170 °C의 증기를 이용하는 기술은 세계 최초로 시도된 방식으로 평가되고 있다. 현재 일본에서는 New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)의 주도로 본격적인 실용화를 목표로 하는 저가화, 콤팩트화, 고신뢰도화 등의 기술에 초점을 맞춘 기술개발 노력을 서두르고 있다[9]. Moonlight 계획에 의한 연구개발 일정은 표 4와 같다.

인산형 연료전지 관련 연구개발 방향은 크게 세 가지 유형으로 분류할 수 있다. 첫째로는 생산원가를 낮추려는 노력들로써 귀금속촉매 함량의 조정 혹은 대체촉매의 개발 등이다. 귀금속 함량의 경우 1965년에는 18 mg/cm²였으나, 탄소재료의 발달과 함께 최근에는 0.75 mg/cm²(양극: 0.25 mg/cm², 음극: 0.5 mg/cm²)까지 20배 이상 절감되었으며, 최근에는 귀금속 사용 대신 천이금속을 이용한 organic macrocycle(예: TMPP, PC, TPP, TAA) 촉매의 이용이 연구되고 있다. 최초의 상용화 제품인 PC-25의 원가가 2,875 \$/kW 수준이나 1,000~1,300 \$/kW를 목표로 다양한 연구가 진행 중이다. 두번째로는 연료전지 자체의 수명에 관한 연구로서 현재 40,000 시간을 목표치로 하고 있다. 수명 향상을 위해서는 부식의 문제가 해결되어야 하며 전해질 손실의 방지 및 보충 방법이 제시

표 4. Moonlight 계획에 의한 연구개발 일정

	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
P A F C		요소기술														
		1,000 kW plant														
						on-site 200 kW										
M C F C		요소기술														
							10 kW					100kW				1,000kW
S O F C																
					1 kW											

되어야 할 것이다. 마지막으로 운전시간에 따른 전압강하 특성을 향상시키기 위한 연구노력이다. 전압강하 현상은 연료전지 기술의 취약점으로서 많은 연구가 이루어지고 있다. 현재 설정된 목표치는 초기 1,000 시간 동안에는 12 mV, 다음 1,000 시간은 4 mV, 2,000 시간 이후에는 1 mV 이하 정도이다. 전압강하 문제의 해결을 위해서는 촉매의 소결 및 피독 현상을 최소화 할 수 있는 방안과 가스 흐름으로 인한 인산의 손실을 최소화 할 수 있는 방안들이 강구되어야 할 것이다.

용융탄산염형 연료전지 개발은 인산형보다 20년 정도 늦은 1980년대에 본격화되기 시작하였다. 1970년대에 ERC와 IFC에 의해 시작된 stack 관련 연구는 1981년 General Electric사와 IGT가 참여 하면서부터 많은 발전을 이루게 된다. 특히 General Electric사는 internal manifold 개념을 도입하여 최근에 IGT와 MCP에 의해 개발되고 있는 IMHEX (internally manifolded heat exchanger) 기술의 근간이 되었다. 1990년대에 DOE는 용융탄산염형 연료전지의 개발 주체로서 ERC, ICT/MCP, IFC 등 세 군대를 지정하여 연구개발 활동을 지원하고 있다. 용융탄산염형 연료전지에 대한 연구동향은 크게 재료공학적인 측면과 cell 및 stack 구성 시의 기계·화공적 측면으로 대별할 수 있다. MCFC의 전극재료로는 양극으로서 Ni-10% Cr, 음극으로서 NiO가 사용되고 있으나, 작동 조건에서

양극은 creep 형태의 파손이 예상되며, 음극인 NiO는 CO₂에 의해 용해되어 양극이나 전해질 쪽에서 재석출되어 전지의 성능을 떨어뜨리게 된다. 이러한 문제의 해결방안으로 새로운 음극 재료나 NiO와 전해질에 첨가제를 투입하는 방법이 검토되고 있다. 전지 구성 재료들의 부식 문제도 심각한 문제로서 코팅방법 등이 연구되고 있으며, 전해질의 손실방지를 목적으로 internal manifolding 방법이 시도되고 있다. Gas crossover 문제는 양극을 bubble pressure barrier로 활용함으로써 해결하고 있다. 이 밖에도 기존의 전해질(62% Li₂CO₃ + 38% K₂CO₃)과 wetting 특성을 개선할 수 있는 첨가제에 대해서도 연구중이다. 세라믹재료(lithium ferrite)의 사용, 연료(특히 석탄가스)에 함유된 불순물의 영향과, 유황성분에 대한 피독현상이 적은 대체 양극(Ni, Fe, Li-ferrite)의 개발 등도 활발히 연구되고 있다.

일본에서는 1 MW급 발전플랜트의 개발을 위해 개질장치등 주변기와 시스템기술을 연구중이다. 네덜란드는 1986년부터 국가계획으로 용융탄산염형 연료전지 연구를 추진하여 1989년에 1 kW급 스택을 개발한 바 있다.

고체 산화물형 연료전지는 아직 연구단계에 있는 연료전지이다. 이 분야의 연구는 전지성능의 향상을 위한 새로운 재료의 개발 및 이러한 재료들의 가공 및 성형 방법에 초점이 모아지고 있다.

표 5. 고체전해질형 연료전지의 구성재료 및 가공방법

	Material	Thickness (mm)	Fabrication process	Resistivity* (ohm · cm)
Support tube	Calcia-stabilized zirconia	1.2	Extrusion sintering	
Air electrode	Sr-doped lanthanum manganite	1.4	Slurry coat sintering	0.013
Electrolyte	Y-stabilized zirconia	0.04	EVD	10
Interconnector	Mg-doped lanthanum chromate	0.04	EVD	0.5
Fuel electrode	Cermet of Ni with stabilized zirconia	0.1	Slurry coat	0.001

*resistivity at 1,000 °C

현재 사용되고 있는 SOFC용 재료 및 가공 방법, 전기저항 등을 표 5에 요약하였다. SOFC의 stack 방법에는 tubular 방식, monolithic 방식, planar 방식 등이 있다. Tubular 방식은 Westinghouse가 고안한 방식으로서, 동 사는 1987년에 36 cm 길이의 3 kW 시스템을 제작하여 일본의 동경가스와 오사카 가스회사에 판매한 바 있다. 1990년에 Westinghouse는 50cm 길이의 20 kW급 전지 제작에 성공하였으며, 100cm 길이의 100 kW급 전지 제작을 목표로 하고 있다. 이 방법은 manifolding이 용이하다는 장점이 있으나 실제 가공 비용이 너무 비싸다는 단점이 있다.

Monolithic 방식은 Allied-signal사와 Argon 국립 연구소에서 고안한 방식으로 자체 지지(self supporting)가 가능하며 별도의 지지체가 불필요할 뿐 아니라 tape casting과 같은 값싼 가공방법으로 전지를 구성할 수 있는 장점이 있다. 그러나 고온에서 유지될 수 있는 sealing 재료 및 방법이 제시되어야 하며 manifolding의 형태가 복잡해진다는 단점을 극복하여야 한다.

2.3. 국내·외 연료전지 기술개발 동향

우리나라의 연료전지 연구는 1985년부터 시작되었으며, 아직 연구의 초기단계에 머무르고 있

으나 최근 이 분야에 대한 관심과 개발 노력이 빠르게 확산되어 가고 있다. 동력자원부는 1988년 대체에너지 개발촉진법에 따라 천연가스 이용 40 kW급 인산형 연료전지 개발을 범국가적 연구사업으로 선정하여(1989년), 각개 구성 요소의 개발을 유공(개질기), 호남정유(스택), 금성산전(전력변환기) 등이 담당하고 있으며 시스템의 연계, 제어운전, 성능평가 등을 한국가스공사가 담당토록 하여 추진 중에 있다. 40 kW급 범국가적 연구사업의 세부 연구과제 현황을 표 6에 나타내었다. 1992년 9월 현재 (주) 유공이 담당한 개질기의 시제품이 제작되어 한국가스공사 연구개발원에 설치, 성능시험 중에 있다. 호남정유는 1992년초 0.5 kW급의 스택을 제작하였으며, 1992년 12월까지 5 kW급 제작을 목표로 하고 있다. 전력변환기의 경우 아직 연료전지용 변환기의 개발이 완료되지 않았으나 금성산전에서는 이미 태양광용 변환기를 개발한 바 있으므로 개발일정에는 차질이 없을 것으로 생각된다. 한국가스공사는 시스템 연계기술의 요체인 시스템 P&ID와 simulator 개발을 완료하였으며, 현재 열교환기 합성망을 구성 중에 있다. 시스템의 성능 비교평가를 위하여 200 kW급 연료전지 도입을 결정하였으며('93년 8월 설치), package 기술 개발을 목적으로 흡수식 냉·온수기 등을 연계하는 방안에 대해서도 검토중이다.

표 6. 40 kW급 인산형 연료전지 개발사업의 세부과제 현황

분 야	세 부 과 제	연구기관
개 질 기	인산형 연료전지용 연료개질 시스템의 개발 연료 개질기 개선 연구	(주) 유 공 경 북 대
스택	인산형 연료전지 스택 제조 기술 개발 인산형 연료전지용 전극 제작 및 응용 연료전지용 전극 제조에 관한 연구	호 남 정 유 한 양 대 연 세 대
전 력 변 환 기	Si계 태양광 및 인산형 연료전지 발전시스템의 직·교류 변환기 개발 대체에너지 전원의 계통 연계 운전 승압형 DC-DC 변환 기술 GTO를 이용한 연료전지용 직·교류 변환기 개발	금 성 산 전 전 기 (연) 서 울 대 충 남 대
시 스템 기 술	40 kW급 연료전지 연계 및 제어 기술 개발	한 국 가 스 공 사

3. 맺 음 말

이상에서 살펴본 바와 같이 연료전지는 에너지이용 효율을 극대화 할 수 있을 뿐만 아니라 환경면에도 공해유발 요인이 매우 적은 깨끗한 발전기술로서, 세계적으로 미래의 대체에너지 기술로 활발히 연구되고 있는 기술이다. 이러한 세계 각국의 개발 노력과 과감한 국가적 기술개발 투자를 감안해 볼 때 연료전지의 실용화는 앞당겨질 전망이다. 90% 이상의 에너지를 수입에 의존하여야 하며 석유 의존도를 낮추기 위해 천연가스 도입량 확대를 추진하고 있는 우리나라의 경우 천연가스를 연료로 하는 고효율의 새로운 발전기술인 연료전지 기술은 매우 유망한 기술이 될 것이다. 1992년부터 추진되는 정부의 선진 7개국 진입목표 기술개발 사업에서도 연료전지는 신에너지 기술의 요체로서 주요 사업목표로 선정되어 있는 바, 연구인력의 지속적인 확대와 과감한 기술개발 투자가 병행하여 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J.O'M. Bockris & S. Srinivasan, "Fuel Cells : Their Electrochemistry", Chapters 1, 2, 3, McGraw-Hill (1969).
- [2] A.J. Appleby & F.R. Foulkes, "Fuel Cell Handbook", Chap. 1, Van Nostrand Reinhold(1989)
- [3] Dept. of Energy, Mines and Resources(Canada), "An Energy Policy for Canada", Vol.2, Chap. 1 (1973).
- [4] B.E. Curry, Proc. National Fuel Cell Seminar, p.13 (1981).
- [5] J.M. King et al., Proc. 8th Intersoc. Energy Eng. Conf., p.111(1973).
- [6] S. Srinivasan, A. J. Appleby et. al, Journal of Power Sources, 29, 367(1990).
- [7] D.A. Berry & M.J. Mansfeld Eds., "Fuel Cells : Technology Status Report", DOE(DE 89000983) (1988)
- [8] J.M. Feret, "Gas Cooled Fuel Cell Systems Technology Development", Final Report for DOE prepared by Westinghouse Electric Co., DOE/NASA/0290-02(1986)
- [9] "Research and Development on Fuel Cell Power Generation Technology FY 1990 Annual Report", NEDO(1991)