

연료전지 발전기술 개발현황과 전망 (下)

신 동 열

한국에너지 기술연구소 전기에너지 연구실장

4. 국내외 기술개발 현황

연료전지의 연구 개발 및 실용화 추진에 있어서는 미국과 일본이 세계를 선도하고 있다. 여기에서는 기술 선진국인 미국, 일본과 국내에서의 기술개발 현황 및 계획에 대하여 소개한다.

가. 미 국

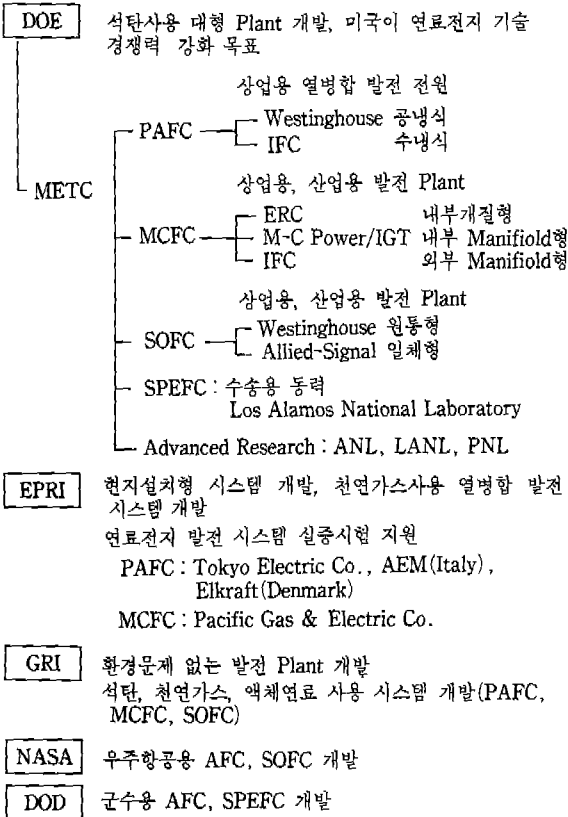
연료전지기술을 선도하고 있는 미국은 1962년 제미니 계획에 의하여 우주 및 군사용의 알칼리 연료전지 연구를 처음 시작한 이후 1967년 28개 가스회사가 중심이 된 TARGET (Team to Advanced Research for Gas Energy Transformation) 프로그램에 의해 연료전지 개발이 본격화되기 시작하였다. 또한 최근의 연료전지 개발연구는 DOE, DOD, GRI, EPRI, NASA 등에 의해서 개발 계획이 주도되고 있다. 미국에서의 연료전지 개발 체계를 그림 4에 나타내었다. 참고로 '85년부터 '88년까지 투입된 연구개발비는 DOE에서 1억3천5백4십만 달러, EPRI에서 2천백만 달러, GRI에서 2천3백만 달

러 총계 1억7천9백만 달러이다.

DOE의 계획에 의하면 천연가스 및 석탄가스를 사용하는 인산형, 용융탄산염형 및 고체 전해질 연료전지 발전 기술의 고효율, 무공해 및 저가격화를 최종목표로 하고 있다. 그림 5에 전체적인 개발계획을 보였으며 그림에 의하면 인산형은 '95년, 용융탄산염형은 '99년, 고체전해질형은 2001년 이후에는 상용화될 것으로 보인다.

(1) 인산형 연료전지

미국의 인산형 연료전지 개발은 1967년 가스회사 28개사가 TARGET를 형성하여 Pratt & Whitney사(UTC: 현 IFC)에 연료전지 개발을 위탁함으로써 시작되었으며(UTC: United Technology Corp., IFC: International Fuel Cell), 이 TARGET 계획을 1976년까지 수행한 후 이의 운전결과를 활용하여 GRI(Gas Research Institute)에서 1977~1986년까지 10년 계획으로 수행하였다.



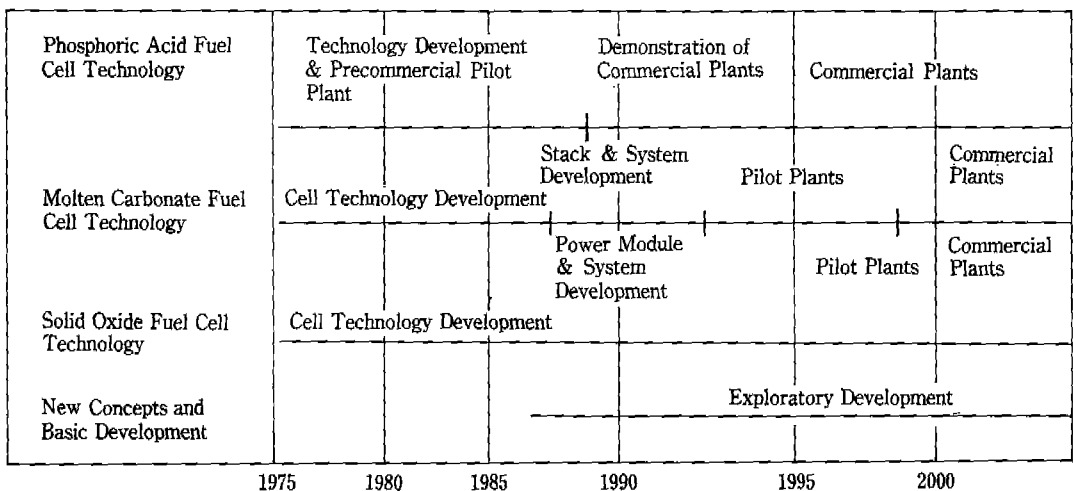
현재의 개발현황으로는 전기사업용으로는 MW급 개발을 위하여 FCG-1 계획에 의해 IFC, Westinghouse 사에서 개발사업을 수행중에 있고, 현지 설치형은 25kW~400kW급을 실용화중에 있으며 이중 200kW급은 이미 상용화되어 있다(표 2 참조).

한편 미국에서의 인산 전지의 연구개발은 대용량보다는 200kW 정도의 현지 설치형 및 열병합 발전용의 개발에 치중하고 있으며, 제조 단가를 현재의 약 \$2500/kW 에서 \$1500~1000/kW 이하로 낮추고 수명을 40,000시간 이상 지속시킬 수 있는 발전 시스템을 개발하기 위해 노력하고 있다.

(2) 용융탄산염 연료전지

용융탄산염 연료전지 개발 연구는 1980년대에는 개념검증, 성능향상, 내구성 향상 등의 연구를 수행하였고 1990년대에는 프로토타입

<그림 4> 미국의 연료전지 연구 개발 체계



<그림 5> 미국 DOE의 연료전지 개발 계획

<표 2> 일본, 미국의 연료전지 발전 플랜트 현황

형식	플랜트명	냉각방식	용량(kW)	제작소	
일본	가압식	東京電力(株)五井火力	수냉식	4,500	IFC
		東北電力(株)新火力	수냉식	50	富士電機(株)
		NEDO-關西電力(株)堺港	수냉식	1,000	富士電機(株)+三菱電機(株)
		NEDO-中部電力(株)和多	수냉식	1,000	(株)日立製作所+(株)東芝
		東京電力(株)五井火力	수냉식	11,000	(株)東芝(FC: IFC)
	상압식	東京가스(株)	수냉식	2×40	IFC
		大阪가스(株)	수냉식	2×40	IFC
		關西電力(株)	공냉식	30	富士電機(株)
		北海道電力(株)	수냉식	100	三菱電機(株)
		東京電力(株)新東京火力	공냉식	200	三洋電機(株)
		東京電力(株)新東京 & 芝浦	수냉식	2×200	IFC
		NEDO-關西電力(株)+大阪가스(株)	수냉식	200	三菱電機(株)
		NEDO-沖繩電力(株)	수냉식	200	富士電機(株)
		東京가스(株)技術研究所	수냉식	50	富士電機(株)
		東京가스(株)技術研究所	수냉식	100	(株)日立製作所
내식	大阪가스(株)	수냉식	200	IFC	
	石油活性化센터/石油各社	수냉식	50~200	各社	
	NEDO-關西電力(株)六甲	수냉식	50~200	各社	
	가스3社[東京·大阪·東邦가스(株)]	수냉식	50~100	富士電機(株)	
일본	가압식	미국: FCG-1計劃	공냉식	(7,500)	Westinghouse
		미국: FCG-1計劃	수냉식	4,500	IFC
		미국: 改質器開發	-	1,250	Haldor Topsoe
		미국: FCG-1計劃 PC-23	수냉식	(11,000)	IFC
		이태리: /ENEA	수냉식	1,000	ANSALDO(FC: IFC)
본국의	상압식	미국: GRI計劃 PC-18改良形	수냉식	46×40	IFC
		미국: GRI計劃 PC-25	수냉식	53×200	IFC
		네덜란드: 유럽·시범플랜트	수냉식	25	KTI[FC: 富士電機(株)]
		이태리: ENEA-유럽·시범플랜트	수냉식	25	KTI[FC: 富士電機(株)]
		서독: SWB	수냉식	76	KTI[FC: 富士電機(株)]
		스페인, 이태리: (가스會社)	수냉식	各 50	富士電機(株)
		EGAT: NEDO-電源開發(株)	수냉식	50	富士電機(株)

MCFC 스택과 파이롯 플랜트 시험, 2000년대에는 상용 플랜트의 건설 계획을 세워놓고 있다. 현재 국립연구소 및 대학에서 기초연구를 포함하여 많은 연구가 수행되고 있으며 스택의 수명을 개선키 위한 연구 및 저가격화를 위한 기술개발을 ERC, IGT, IFC 및 M-C Power Corp.에서 수행하고 있다. 현재까지의 연구개발 현황은 ERC와 IFC에서 5kW급의 용융염형

전지를 약 5000시간 성능 실험을 완료하였으며 20kW급 전지 본체의 실험을 Pacific Gas & Electric Co.와 EPRI의 지원으로 수행중에 있다. 또한 Pacific Gas & Electric Co.는 California주 San Ramon시의 연구소에 세계 최대의 100kW급 발전플랜트의 운전 실험을 시작하였으며, '95년부터 2MW급 시범 발전소 가동을 목표로 EPRI와 공동으로 개발중에 있다.



나. 일 본

연료전지 발전기술에 관한 일본의 개발개념은 정부주도하에서의 자국의 자체기본 기술 개발과 함께 미국 개발품의 도입운전에 의한 관련 기술 및 운전기술 개발을 통한 상용화를 병행하여 추진하고 있다.

(1) Moonlight 계획

정부 계획에 의한 연료전지 기술 개발은 에너지절약 기술개발 계획(Moonlight 계획)의 하나로 1981년부터 6개년계획으로 총액 110억엔을 투입하였으며, 이후 15개년 계획으로 연장하고 연구개발비도 약 570억엔으로 증액하였다. 이계획의 목표는 신뢰성이 높고 보다 우수한 연료전지 기술을 확립하기 위한 것이다. 인산형의 경우 1000kW급 발전설비를 독자 개발하여 실증 시험하는 것과, 200kW급 현지 설치형의 상용화를 목표로 하여 연구개발을 추진하고 있다. 참고로 그림 6에 Moonlight 계획에서의 연료전지 개발 계획을 표시하였다.

Moonlight 계획에 의한 연료전지 개발계획중 인산형과 용융탄산염형의 연구개발은 신에너지

개발기구(NEDO : New Energy Development Organization)에서 지원하고 있다.

인산형의 경우 기본기술 개발연구는 '90년도로 종료하였으나 1996년도까지 가압형 5MW, 상압형 1MW급 발전 플랜트의 실증실험을 목표로 하여 9개의 전력회사와 4개의 가스회사 및 전력중앙연구소로 구성된 연구조합을 구성하고 NEDO 주관하에 대규모 실용화 연구에 치중하고 있다. 현재의 기술수준은 화력 대체 및 분산전원용으로 이미 1MW의 실증플랜트의 운전 시험을 종료하였으며, 낙도 및 대형건물용의 현지 설치용은 실증 시험이 거의 완료되고 있어서 곧 상용화될 것으로 전망된다.

용융탄산염 연료전지는 '90년대 후반에 실용화를 목표로 하고 있으며, '93년까지는 100kW의 출력을 목표로 하고 있다. 이 전지 개발은 Moonlight 계획의 일환으로 추진되고 있으며 '84년부터 '95년까지 총 개발비 340억엔을 투입하여, 전지본체는 NEDO의 주관으로 개발하고, 플랜트화를 위한 시스템 개발은 연구개발 조합을 결성하여 이곳에서 수행토록 되어 있으며, 현재 25kW급 발전 시스템 운전시험 연구와,

연료전지	연도																
	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97
인산 연료전지	요소기술		1MW 발전 Plant					1~5MW급 Plant 실증시험									
	200kW On-Site System																
용융탄산염 연료전지	요소기술		10kW Stack		100kW Stack, 1MW 주변기기			1MW Plant									
고체산화물 연료전지	기 초 연 구								100W Stack		10~30kW Stack						

<그림 6> Moonlight 계획에서의 연료전지 개발 단계

1000kW급 파이렛 플랜트의 기본 설계연구를 수행중에 있다. 최근 발표에 의하면 용융탄산염 연료전지로는 세계 최대인 26kW급 운전에 성공하였다.

(2) 전력회사에 의한 연료전지 개발

동경전력에서는 미국의 UTC(현 IFC)로부터 4.5MW 인산형 연료전지 발전설비를 도입하여 실증시험을 통하여 연료전지 발전소의 기본 설계, 건설, 운전, 보수 등에 관한 관련기술 습득과 전력계통에의 적용성 검토를 완료하였다. 또한 오정화력 발전소에 세계 최대규모인 11MW급 인산 연료전지를(연료전지 본체는 IFC제품) 건설하여 '89년 1월부터 건설하기 시작, '91년 1월부터 운전실험을 수행하고 있다.

용융탄산염 연료전지는 아직까지 기본기술 확립단계이므로 NEDO 위탁으로 전력 중앙연구소에서 MW급 파이렛 플랜트의 개발을 위한 요소 및 시스템 기술을 개발중이다. 참고로 일본과 미국의 여러 전력회사 및 가스회사 등이 연료전지 발전기술의 이용을 위한 플랜트 건설 현황을 표 2에 요약하였다.

(3) 가스회사의 연료전지 개발현황

일본의 가스업계에서는 대체 에너지 및 에너지 절약적인 측면에서 현지설치형 연료전지 시스템을 장래 중요한 도시에너지 공급원의 하나로 간주하고 적극적인 개발을 추진하고 있다.

동경가스 및 오사카가스는 1972년부터 시작된 미국의 TARGET 계획에 참가하여 미국과 함께 12.5kW급 PC-11(총 64기, 운전시간 20만 시간)의 현장시험을 실시한 바 있으며 본격적인 시장도입에 대비한 신뢰성의 확인, 운전 및 보수성의 확인, 기존에너지 시스템에서의 적합성 확인 등을 목적으로 40kW급 PC-18 연료전지의

현장실험을 수행하였다. 이어 1984년 각각 PC-18 1기씩을 추가도입, 오사카가스에서는 Proto Type기의 병렬 운전을 위하여 식당에 설치 운전하였으며 동경가스는 동경지역의 호텔에 설치 평가시험을 행하였다.

다. 국내 개발 현황

국내에서의 연료전지 기술개발은 1981년 한국 에너지 기술연구소(구 한국동력자원연구소)에서 동자부 연구비 지원으로 인산형 연료전지의 기초연구를 한 것이 최초이다. 이후 1985년부터 에너지 기술연구소와 한전 기술연구소 공동으로 5.9kW 인산 연료전지 본체를 수입하고 나머지 부분을 개발하여 발전 시스템을 구성하고 성능실험을 한 것이 본격적인 연구의 효시가 되었으며, 이를 계기로 국내에서도 연료전지 개발의 중요성을 인식시키는 계기가 되었다. 최근에는 연구 개발 사업이 활발히 이루어지고 있으며 그 대상은 주로 인산형, 용융염형 및 고체전해질형 연료전지이다. 이들중 가장 먼저 또 빠르게 진행되고 있는 것이 인산형이며 다음 두 가지 사업이 주류를 이루고 있다.

첫째는 1987년부터 6년계획으로 과기처 국책 연구사업으로 2kW급 인산형 연료전지 발전기 개발과제를 에너지 기술연구소 주관하에 연구소, 대학 등이 공동으로 참여하여 수행하였으며, 최근 1kW 인산형 연료전지 본체를 성공적으로 개발한 바 있다. 또한 에너지 기술 연구소는 한전 기술연구소와 공동으로 1단계로 수행된 5.9kW 인산 연료전지 발전 시스템의 운전 이후 2단계로 발전 시스템의 성능 향상 및 운전 자동화 연구를 수행중에 있다.

둘째로는 1989년부터 동자부의 대체에너지 개발사업 계획에 의해 40kW급 인산 연료전지 발전 시스템을 개발 목표로 삼는 연구사업이 수

행되고 있다. 이 연구에서의 개발 체계는 본체 개발은 호남정유, 연료개질기는 유공, 전력변환 장치는 금성전선 그리고 계통연계 기술개발은 전기연구소가 주관이 되고 이들의 종합은 가스 공사가 주축이 된 산업계 주관의 체계로 되어 있다. 이 계획에 의하면 1차 계획이 끝나는 1993년까지는 소규모 인산 연료전지 본체 및 주변 시스템의 개발 기술이 어느 정도 확립될 것으로 전망된다. 또한 최근에는 우리나라의 과학기술 수준을 2000년까지는 선진 7개국 수준으로 발전시키겠다는 G7. 프로젝트중의 한 과제인 신에너지 기술개발 사업에서도 연료전지의 개발이 중요한 과제로 계획되어 있으며, 2000년까지 200kW급 인산형 연료전지 발전 시스템 개발을 목표로 삼고 있다. 참고로 표 3에 국내의 연료전지관련 연구현황을 정리하였으며 표 4에는 국내의 연료전지 연구개발을 지원하거나 참여하는 산업체를 정리하였다.

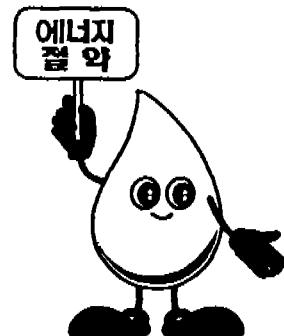
이상과 같이 현재 국내 기술개발의 수준은 전반적으로 기초 단계이나 연료전지 본체를 포함한 연료개질, 전력변환장치 등의 주변 기술개발

을 범국가사업으로 하여 소규모 시제품 개발을 목표로 추진중에 있으므로 1차 계획이 끝나는 '93년 이후에는 실용화에 근접된 소규모의 발전 실비가 개발될 것으로 전망된다. 또한 동 계획에는 용융탄산염, 고체전해질 등 제2, 제3세대 연료전지의 기초 연구도 포함되어 있어서 2000년까지는 현재의 선진 기술 수준에 근접할 수 있을 것으로 전망된다.

5. 결론 및 전망

연료전지 발전기술은 전기화학적 반응에 의한 직접발전 기술이며 열과 전기를 동시에 사용할 수 있기 때문에 발전효율이 높고 환경 및 소음공해 등을 무시할 수 있는 최첨단 발전기술이다. 또한 도시내의 건물에 설치가 가능하고 취급이 간편하기 때문에 대형 화력발전에서부터 수송용 전원에 이르기까지 그 용도가 다양하다. 이러한 장점들은 기존 발전방식의 여러 가지 문제점들을 극복할 수 있으며 동시에 전력분야에서의 기술 및 경제적인 요구에 부응할 수 있기 때문에 앞으로 연료전지 발전기술의 이용은 필

11월은
에너지 절약의
달입니다



에너지절약은
제2의 생산입니다.

<표 3> 국내 연료전지기술 연구 개발 현황

과 제 명	기 간	주 요 내 용	수 행 기 관	지 원 기 관	비 고
인산형 연료전지 발전 기초 실험	'85~'89 (3년)	5kW급 인산형 : ◦ 발전 시스템 구성 ◦ 발전 특성	에기연-한전연	한전	전지본체 수입
연료전지 발전 연구 사전 조사	'86~'87 (6개월)	◦ 연구 개발 동향 ◦ 개발 계획	에기연	과기처	
소출력 연료전지 개발 (연료전지 기술개발)	'87.12~ ('90~'92.8)	2kW급 인산형 : ◦ 전지 본체 ◦ 개질기 ◦ 전력 변환기 ◦ 시스템 종합	에기연, 과기원, 표준연 대 학	과기처	◦ 국책 연구사업 ◦ 범국가적 연구 사업
목적 기초 연구 : ◦ 전지 전극 개발 ◦ 전극재료 부식 ◦ 수소연료 제조	'86~'89	◦ 전극 재료 관련 기초 연구 ◦ 천연가스 재질 기초 연구	한양대 경북대	과학재단	
인산형 연료전지 발전설비 성능 향상	'90~	5kW급 인산전지 : ◦ 효율 향상 ◦ 설비성능 개선	에기연	한 전	범국가적 연구 사업
대체에너지 개발 사업(범 국가적 사업)	'89~	◦ 40kW급 인산형 연료 전지 발전 시스템 실용화	연구소, 포항대, 서울대, 기업(호유, 유공, 금성)	동자부(대체에너지 개발센터)	범국가적 연구 사업
대체에너지 개발 사업(기 타 사업)	'89~	◦ 용융탄산염 -1kW스택개발	KIST, 대 학(고대), 기업(삼성), 한전	동자부(대체에너지 개발센터)	
	'90~	◦ 고체전해질 -단위전지	서울대, 기업(동서)	동자부(대체에너지 개발센터)	

<표 4> 국내 산업계의 연료전지 개발 현황

회 사	개 발 현 황
한 전	PAFC 1985~'89 : 동자연과 5kW 본체 수입 운전 1993~ : 50kW 시스템 도입, 실증실험 예정 MCFC 1989~'92 : MCFC 기본기술 개발(KIST와 공동) 1992~ : MCFC 발전 기술 개발 사업 추진 (KIST 및 삼성중공업 공동)
가 스 공 사	가스 소비 촉진 일환으로 적극적인 관심
호 남 정 유	PAFC 1994~ : 200kW 도입 운전 예정
삼 성 전 자	PAFC 1989~'94 : 40kW 실용화 추진중
동 서 산 업	MCFC 1992~'95 : 1kW 내부 개질형 Stack 개발
유 동 공	SOFC 1990~ : 평판형 단위전지 개발
금 성 산 전	PAFC 연료전지 개질기 연구
삼 성 중 공	PAFC 전력변환기 및 제어 연구 MCFC 본체 적용 및 엔지니어링 기술 개발 한전의 MCFC 개발 사업에 공동 참여

연적이라 볼 수 있는 차세대 발전기술이다.
미국, 일본 등의 기술 선진국은 인산형 연료 전지인 경우 이미 개발단계를 넘어 실용화단계에 도달해 있으며, 제2, 제3세대 연료전지라고 할 수 있는 용융탄산염 및 고체산화물 연료전지 등도 연구가 진행되고 있다. 이러한 기술들은 국가적 기술 보호 입장에서 해외이전이 안되는 정책적인 중요기술로 보호하고 있어서 실용화 시에는 많은 기술 및 경제적인 이익을 얻을 것으로 보인다.

인산형 연료전지 발전기술은 선진국에서는 1 MW급 실증 플랜트의 실험을 마쳤으며 '91년부터는 일본의 동경전력이 11MW의 플랜트의 운전 실험을 수행하고 있어서 이 실험이 끝나는 '94년경부터는 상용화가 본격적으로 추진될 것이며, '95년 이후부터는 본격적인 이용이 가능할 것으로 전망된다. 또한 현지 설치용으로 미국의 IFC는 200kW급을 현재 주문에 의해 팔고 있어서 수년후에는 이용이 활발해질 것으로 전망된다.

용융 탄산염형 연료전지는 높은 효율, 효과적 인 배열 이용 가능성, 높은 부하 응답성 등 연료전지 공통의 장점외에 석탄 가스화 가스의 사용(일산화 탄소를 포함한 수소가스의 사용 가능

성)에 의한 대규모 복합 발전소 구성이 가능하므로 화력 발전소 대체용 전원으로 사용이 전망된다. 이 전지는 미국과 일본이 기술 연구를 선도하고 있으며 '90년부터 MW급 파일렛 플랜트의 개발, '95년경에는 운전 시험이 계획되어 있어서 2000년 이전에는 부분적인 실용화가 가능할 것으로 예상된다.

고체전해질형 연료전지는 동작온도가 아주 높으므로 고온에 견딜수 있는 재료개발, 공정개발, 가스 누설 방지 등 어려운 문제들이 많이 있으며, 현재는 500W급의 소규모 실험용 스택을 개발 실험중에 있어서 실용화시기가 2000년 이후에나 가능할 것이다.

한편 국내에서는 아직은 기술개발 초기단계에 있으나 중요성을 인식하여 범국가적인 차원에서 대체에너지 개발계획 및 G7 선도기술 개발계획 등으로 산·학·연 공동으로 기본기술의 개발 및 실용화 사업을 추진하기 때문에 인산형 연료전지의 경우, '93년 이후에는 소규모의 발전 설비가 국산화될 것으로 전망된다. 또한 동 사업에는 용융탄산염, 고체전해질 연료전지 등의 기본연구 계획도 포함되어 있어서 2000년 정도에는 현재의 선진 기술에 근접한 기술 수준이 될 것으로 전망된다.

참고문헌

1. K. Kinoshita, et al, "Fuel Cells A Handbook", DOE/METC-88/6096, 1988
2. 木 和 雄 等, "燃料電池 設計技術", Science Forum, 1987
3. Fuel Cell Seminar, Program and Abstracts, Nov. 25~28, 1990, Phoenix, Arizona, USA
4. USDOE, Fuel Cell Systems Program Plan FY1990, 1989
5. 三重野 勳, 古賀 浩, "磷酸形 燃料電池開發의 現狀과 展望", 富士時報, 63, 11, 1990
6. 山口 洋, "燃料電池의 展望 出光 石油技術", 27, 80, 1984
7. 武田克之, "歐米の 燃料電池 開發 動向", NEDO News, 2, 26, 1988
8. T.G.Benjamin et al, "Handbook of Fuel cell Performance", DOE Report, 1980
9. "Fuel cell : Trends in Research and Applications", UNESCO, 1985
10. 연료전지 기술개발 계획, 동자연 에너지전략기술센터, 1989. 12
11. 한국전력 기술 연구원, "G7 프로젝트 신에너지 기술 개발, 연료전지 연구 기획" 1992. 4