

인산형 연료전지

김 영 우 · 이 주 성

한양대학교 공과대학 공업화학과
(1992년 11월 25일 접수)

Phosphoric Acid Fuel Cell

Yeong-Woo Kim and Ju-Seong Lee

Dept. of Industrial Chem., Hanyang University
(Received November 25, 1992,)

1. 연료전지의 원리

연료전지는 수소와 같은 활성을 갖는 물질(연료)을 전기화학적 반응에 따라 산화시키며 그 산화과정에서 방출되는 화학에너지를 전기에너지로 직접변환하는 발전장치이다. 일반적으로 화학 전지의 일종으로 생각하면 "활물질(전지의 기전반응의 기본이 되는 물질)이 외부로부터 연속적으로 공급되는 화학전지"로 정의 된다.

연료전지는 반응온도, 전해질, 활물질에 따라 분류할 수 있다. 대개 사용하는 전해질에 따라 5가지로 분류된다. 알칼리형 연료전지(AFC), 고분자 전해질형 연료전지(PEFC), 인산형 연료전지(PAFC), 용융탄산염형 연료전지(MCFC) 그리고 고체 산화물 연료전지(SOFC)가 그것이다. AFC와 더불어 제1세대 연료전지라고 불리우는 PAFC는 기술적으로 취급하기 쉽기 때문에 가장 실용화에 접근한 연료전지이다. 화학연료(천연 가스, 메탄올, 석탄)로부터 개질하여 얻은 수소와, 공기로부터 얻은 산소를 각각 다공성의 anode, cathode극에 공급하고, 양(兩) 전극간을 부하가 걸리게 하여 접속하면 anode 극에서는 수소가 $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ 와 같이 산화되어 수소이온이 생성되고, 전자를 부하회로에 방출한다. 한편 양극에서는 산소

가 부하회로를 통하여온 전자와 인산 전해액중을 이동하여온 수소이온과 반응하여 $1/2 O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ 와 같이 물(water)이 생성하게 된다.

기체-전극-전해액이 잘 반응하도록 할 경우 소위 삼상대의 형성이 많이 필요하며 이 때문에 전극 뒷부분으로부터 가스가 공급되는 형태의 다공성전극[1~10]을 사용한다.

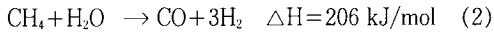
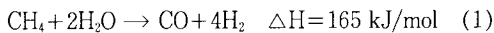
인산 전해질은 낮은 온도에서 매우 나쁜 이온 전도성을 갖기 때문에 보통 150~220°C에서 작동하게 된다. 더 높은 온도에서는 이온 전도도가 증가하나 재료(카본이나 백금)의 안정성때문에 제한을 받게 된다. PAFC의 장점은 1) 전해질이 매우 안정하다는 점과 2) 높은 온도에서 고농축(~100%)된 인산을 사용하기 때문에 물의 증기압이 매우 낮아지게 되며 반응가스로서 steady-state상태의 물을 제거함으로써 생성되는 물의 비율과 균형을 이룰 수 있으며 3) 150~220°C에서 anode의 성능은 5% CO가스가 함유된 연료를 사용하여도 매우 우수한 값을 나타낼 수 있다는 것이다. PAFC의 단점으로는 cathode의 성능이 anode에 비해 활성이 떨어진다는 점이다. 그러므로 PAFC에서 주요기술 개발은 cathode의 개발쪽에 중점을 두고 있다.

2. PAFC 시스템

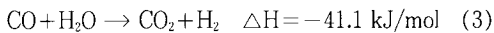
PAFC 발전 plant는 그림 1에 나타낸 바와같이 크게 4가지 부분으로 구성된다. 다양한 1차연료 즉, LNG(methane), petroleum products(naphtha 등), coal liquids(methanol 등) 및 coal gases 등을 개질하여 수소가 풍부한 연료를 얻는 장치인 연료개질부(reformer)와 주입된 개질 연료와 공기중의 산소를 이용하여 실제 전기화학적 전극반응을 일으켜 전력을 생산하는 주요 부분인 연료전지 stack부와 stack에서 나온 직류를 교류로 전환시켜주는 직·교류변환장치(inverter) 및 연료전지 작동시 각 요소에서 발생하는 열을 회수하는 열 회수 장치(heat recovery section)로 이루어져 있다.

수소를 값싸게 생산하는 방법으로 탄화수소의 수증기 개질공정이 널리 이용되고 있다. 수소의 사용처에 따라 수소제조공정의 변화가 조금씩 있기는 하나 거의 대부분이 수증기 개질, 수증기 가스 전화반응(CO전화 반응)공정을 거치고 있다. 인산형 연료전지에 사용되고 있는 수소는 주로 메탄인 천연가스를 수증기로 개질하고 있으며 이의 제조방법을 간략히 나타내면 다음과 같다.

첫 단계는 천연가스와 수증기를 반응시켜 H_2 , CO , CO_2 , H_2O 의 혼합물이 생성되는 단계이다.



이 반응은 대단히 큰 흡열반응이다. 열역학적 평형관계를 고려하면 CH_4 의 효율적인 이용을 위해서 반응온도를 높여야 하며(700~800°C) 이때 사용되는 촉매로서는 주로 Ni계 촉매를 사용한다. 다음 단계로서는 CO전화 반응(CO shift reaction)인데 개질 단계에서 다량으로 생성된 CO를 다시 수증기와 반응시켜 CO_2 로 전환시키고 여분의 수소를 생성하는 단계이다. 반응식은 다음과 같다.



이 반응은 발열반응으로서 온도가 증가할수록 CO의 전화반응이 불리하나 반응속도는 증가하기 때문에 보통 200~250°C에서 진행된다. 대규모 수소생성이 필요한 곳에는 고온전화(high temperature shift; HTS)와 저온전화(low temperature shift; LTS) 두 단계를 통하여 수행한다. 인산형 연료전지의 규격에서 허용 CO함량은 1%미만이다.

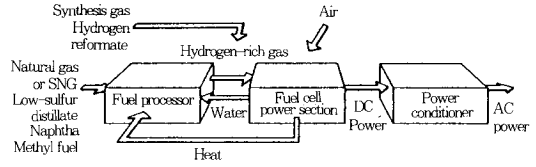


Fig. 1. Generalized schematic of a fuel cell power plant.

3. 셀 구조

PAFC의 기본 셀 구조를 Fig. 2에 나타내었다. 매우 많은 개발과 넓은 응용범위로 연구 개발되고 있음에도 불구하고 기본적인 PAFC의 기술은 실질적으로 모두 대동소이하다.

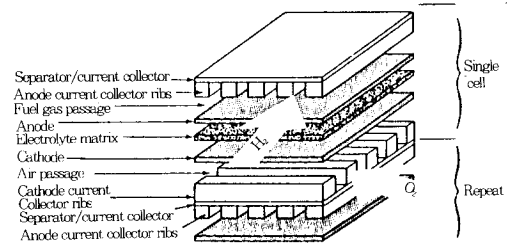


Fig. 2. Basic phosphoric acid electrolyte fuel cell.

1. 수소극(anode)은 전해질과 인접해 있는 부분에 백금이나 백금 alloy촉매로 처리되어 있는, 다공성 혹은 연판으로 구성되어 있다. 실제 사용되고 있는 anode는 단위 면적당 매우 작은 양의 귀금속이 담지되어 있다. 현재 기술 수준은 0.25mg/cm^2 의 담지량이다. 촉매는 고분산된 카본블랙상에 30~80Å 정도의 백금 또는 백금 합금을 여러가지 방법(함침법, 콜로이드 방법 등)으로 담지하여 사용한다. 전극은 일반적으로 Teflon 현탁액 또는 분말을 결합체로 이용하여 0.1~0.2mm 두께의 다공성 sheet(다공도:60~80%)를 제작하여 사용한다. 산소극의 전극제작도 이와 마찬가지로 지이다. Photo. 1은 Vulcan XC-72 카본블랙 담체에 백금촉매(~50Å)가 고분산 담지된 것을 보여준 SEM사진이다.

2. 산소극(cathode)은 수소극과 비슷하나 modified된 귀금속 촉매가 많이 사용되고 있으며 촉매 담지량은 수소극보다 많아 보통 0.5mg/cm^2 정도 사용되

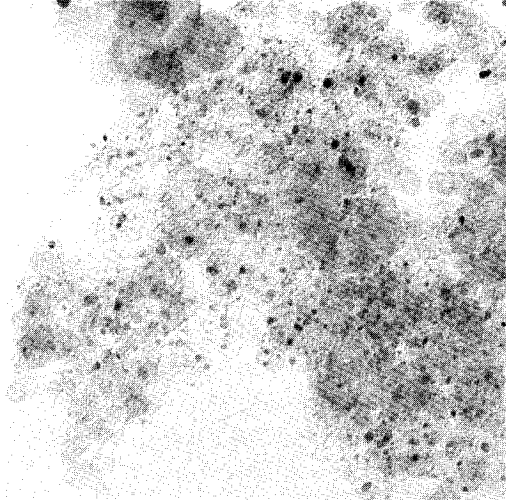


Photo 1. SEM photograph of platinum catalyst on Vulcan XC-72 carbon black.

고 있다. 그 원인은 산소의 환원반응을 증가시키기 위함이다. Cathode 또한 전해질의 충전(flooding)을 방지하고 산소의 활성점까지 완전한 확산을 위하여 teflon 함량을 증가시켜 발수성이 큰 다공성 전극으로 만들어 사용하고 있다.

3. 전해질 matrix(*electrolyte matrix*)는 농축된 인산을 함유한다. 현재 사용되고 있는 matrix는 실리콘 카바이드(SiC)분말 또는 SiC 휘스카(whisker)와 teflon 결합제로 제작되어지며 두께가 0.1~0.3mm 정도이다. 전해질 matrix는 최대한의 이온전도도를 갖고 있어야 하며 수소(연료)와 산소의 가스흐름에 대한 "crossover"를 방지하여 주어야 한다. 따라서 matrix는 매우 작은 기공(pore)이나 capillary를 갖고 있어, 전해질로 충전되었을 경우 수소(연료)와 산소의 압력차가 6×10^3 Pa 정도 발생하여도 가스의 관통 없이 견딜 수 있어야 한다.

4. 카본(graphite)분리-집전판(*carbon or graphite separator-current collector plate*)은 multicell의 stack에서 이웃하고 있는 셀의 산소와 수소를 분리하며 셀간의 전기적인 연결 역할을 한다. 이러한 판은 산소, 수소에 대해서 비투과성이어야 하며 좋은 전기적 전도체이어야 한다. 그리고 농축된, 200°C의 인산 전해질의 존재하에서 산소와 수소의 분위기에 안정하

여야 한다.

5. 수소극 집전부(*anode current collector ribs*)는 anode에서 생성된 전기를 분리판에 전달하는 전도체이다. 또한 ribs형태는 anode까지 수소를 분배하기 위한 가스통로로 사용된다. 이러한 카본 또는 흑연 rib들은 분리-집전판에서 또는 anode의 일부분으로서 만들어진다. 어떤 경우는 좋은 전도체이어야 하며 연료분위기에 안정하여야 한다. 분리 집전판의 한 부분으로 만들어질 경우 다공성이 전혀 없는 밀집된 재료로 처리되어야 하며 anode의 일부분으로서 만들어질 경우에는 다공성이 있어야 한다. 그러나 anode의 일부분으로 된 형태가 더 좋은 장점을 갖고 있으며 그 이유로서는 첫째, 제작이 편리하고 둘째, 다공성 ribs쪽에 인산 저장소로 이용할 수 있어 수명을 증가시킬 수 있다는 것이다.

6. 산소극 집전부(*cathode current collector ribs*)는 실질적으로 anode ribs와 같다. 한가지 차이점은 가스 흐름에 있어서 물질 이동 특성 및 성분간의 접촉저항을 조절하는 rib의 높이와 너비가 다르다는 것이다.

Stack에서 cathode의 rib와 anode rib는 일반적으로 Fig. 2와 같이 cross형으로 되어 있는데 이것은 외부 가스통로(manifold)를 만들기 쉽게 하기 위함이다.

이러한 단위 셀을 반복적으로 적층시켜 소정의 stack을 만들어 전력을 생산한다. 예를 들어 New York에 설치된 4~5MW 발전 plant가 20개의 stack으로 이루어졌으며 각 stack은 340cm² 면적의 500개 셀로 이루어져있다. 연료와 산소의 공급 및 배출 manifold는 각 stack의 옆면에 따라 설치되는데 셀의 sealing 및 manifold의 sealing은 stack의 운전에서 매우 중요하다. 셀의 sealing은 가스 분리판과 전해질 matrix 사이에 놓이게 되어 있으며 산소와 수소의 누출을 방지한다. Manifold의 sealing은 stack의 해당면과 manifold 사이에 이루어진다.

셀의 sealing은 보통 "wet seal"을 하는데 그것은 seal재료 표면을 젖게하는 인산의 표면 장력이 sealing을 더욱 확고히 하여 준다. Manifold sealing은 teflon형태의 tape로 이루어진다. 작동조건을 고압에서 할 경우 sealing의 어려움을 방지하기 위해 stack을 고압그릇(high pressure container)으로 housing

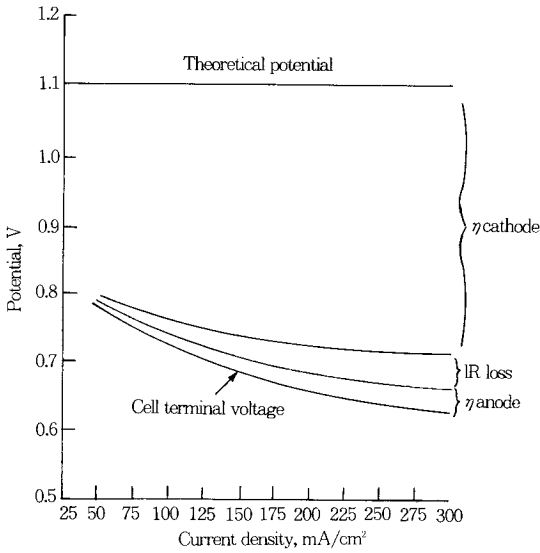


Fig. 3. Typical performance of a phosphoric acid electrolyte fuel cell (190°C 3×10⁵ Pa, air, H₂ fuel, platinum loading: 0.75mg/cm²).

하여 사용한다. 이렇게 함으로써 그릇을 작동압력으로 가하여 seal양쪽 부분의 압력차를 최소화시킬 수 있다.

4. PAFC의 특성

현재의 PAFC의 특성은 거의 전적으로 cathode에 의해 결정된다. 즉, 농도 분극, anode활성 분극, 전해질의 IR강하 등은 cathode의 활성화 분극에 비하면 매우 적다. Cathode의 전류밀도는 일정한 전압에서 산소의 부분압력에 비례하여 증가하므로 압력을 증가함으로써 전극성능을 향상시킬 수 있다. 또한 cathode의 전극성능은 촉매 담지량을 증가함으로써 근본적으로 향상시킬 수 있으나 1mg/cm² 이상의 촉매를 담지할 경우 전류밀도 이득(gains in current density)이 감소한다.

PAFC 발전 plant의 연료이용은 다양한 1차연료 즉, methane, petroleum products, coal liquids, coal gases의 개질에 의해 얻은 수소를 이용한다.

이러한 변환과정은 수소가 풍부한 연료를 만드는 것이다. 이때 수소와 함께 CO₂와 CO가 생성되며 CO₂ 가스는 불활성으로 연료의 농도를 희석하는 역할만

하나 CO가스는 연료전지의 anode에 중요한 독으로 작용하게 된다. Fig. 3의 낮은 anode 과전압(η anode)은 낮은 CO가스의 농도에서 이루어질 수 있다 [11, 12].

Fig. 4는 전형적인 운전시간에 따른 PAFC의 성능 감소율을 나타내었다. 이 그림에서 흥미있는 특징은 초기 1000시간을 작동한 뒤에 전압강하가 시간(log 함수)에 따라 직선적인 관계를 나타내고 있다는 것이다. 이러한 원인은 백금 촉매의 활성 표면적을 잃게 되는 경향에서 비롯된다. 이것은 다음 3가지 mechanism에 의한다.

1. Cathode에 있는 카본소지(substrate)가 서서히 산화되어 표면적이 감소하게 되며 이에 따라 cathode와 백금촉매와의 갈라짐이 일어난다.
2. 백금 결정이 카본 위에서 이동하여 다른 백금 입자와 뭉쳐짐으로서 더 큰 결정을 이루게 되어 촉매의 표면적을 감소시킨다.
3. 백금은 산에서 매우 느리게 용해된다. 그래서 용해 및 재침적(dissolution & reprecipitation)하여 결정크기의 증가를 가져온다.

이러한 3가지 mechanism의 결과는 cathode의 촉매 표면적을 감소시키는 요인으로 점점 유력하게 해석되고 있다[14]. Cathode의 전위, 온도, 산 농도(water content), 산소분압이 그 중요한 인자가 된다. 그러나 훨씬 더 중요한 것은 카본(graphite)표면의 특성과 백금 alloy의 조성이다. 백금의 이동과 용해 및 카본의 산화는 재료의 특성에 조금만 더 관심을 기울인다면 크게 줄일 수 있다.

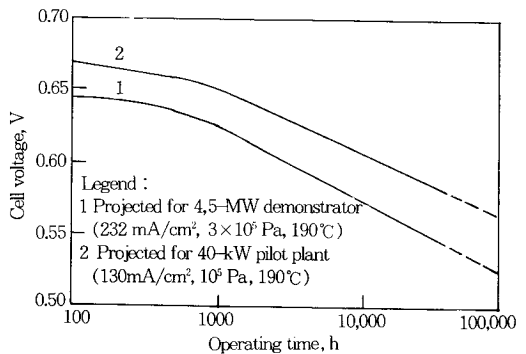


Fig. 4. Typical performance decay for phosphoric acid fuel cells(Curve 1 form ref. 13; curve 2 from ref. 13a).

Fig. 5와 같이 cell의 성능을 떨어뜨리는 또 다른 원인으로 다음을 들 수 있다.

1. 저항의 증가 또는 불충분한 전해질로 인한 gas의 crossover
2. 적절하지 않은 발수성 때문에 cathode의 반응면적의 감소와 농도 분극의 증가
3. Cathode와 anode의 촉매독(sulfur, CO)에 의한 촉매활성도 감소
4. 접촉압력의 저하로 인한 접촉저항 증가
5. 외부의 가스 누출

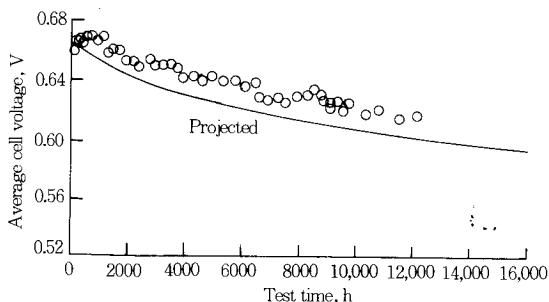


Fig. 5. Endurance test of a 24-cell stack (test conditions: 130mA/cm², 190°C, 10⁵ Pa pressure) (Courtesy of United Technologies Corp).

이러한 모든 문제는 실제로 일어나고 있으며 앞으로도 일어날 가능성이 충분히 내포되어 있다. 따라서 PAFC의 고유 기술로서는 취급되지 않는 이러한 문제들은 디자인이나 제작에 있어서 보다 많은 주의를 갖는다면 피할 수 있을 것이다.

5. PAFC의 개발 현황

일반적으로 연료전지 분야의 국내연구 개발 능력이 낮아 선진국 수준의 연구 개발을 수행하기 위해서는 많은 난관과 기술개발 과정에서 많은 시행착오가 예상된다.

상용화를 앞둔 인산연료전지의 개발수준을 100이라 할 때 연료전지별로 국내의 기술수준을 비교하면 표 1과 같다.

표 1. 국내의 연료전지 기술 수준 비교

연료전지 대상기술	PAFC		MCFC		SOFC		PEFC	
	국외	국내	국외	국내	국외	국내	국외	국내
재료기술	100	10	70	10	50	5	80	-
요소제작기술	100	20	90	20	50	10	80	-
Cell/stack기술	100	30	80	10	60	10	80	-
운전기술	100	10	90	5	50	-	80	-
시스템구성기술	100	40	90	20	80	20	80	-

(“연구전지 연구 개발 추진 세미나”중에서; 1992. 3. 20, 에너지관리공단에서)

5. 1. 미국의 연료전지 개발 동향

미국에서는 1962년 제미니 계획에 의하여 우주 및 군사용으로 알칼리 연료전지(AFC)연구를 시작하여, 1967년 28개 가스회사가 중심이된 TARGET프로그램에 의하여 민수용 연료전지의 개발이 본격화 되었다. 현재 연료전지 개발 연구는 DOE(Department of Energy), EPRI(Electric Power Research Institute)와 GRI(Gas Research Institute)를 중심으로 진행되고 있으며 PAFC, MCFC, SOFC는 전력공급용으로, 고분자 전해질(PEFC)는 버스 등의 수송용동력으로 개발이 진행되고 있다.

미국의 인산형 연료전지 개발은 표 2, 3과 같이 진행되고 있으며 현재 PAFC의 상용화가 추진되고 있다. 미국에서의 연료전지는 최근 발효된 환경규제 조치(Clean Air Act)에 부합하는 발전장치를 목표로 상용화 기술개발이 가속화되고 있다. 현재 DOE의 개발 목표는 전력효율 50%정도의 연료전지 발전시스템 개발에 있다.

5. 2. 일본의 연료전지 개발 동향

1981년 통산성(MITI)산하의 공업기술원(AIST)주도로 시작된 Moonlight계획으로 본격화 되었다. 정부 주도하의 Moonlight계획에 의한 연료전지의 자체 기술개발과 병행하여 민간기업에서는 미국 시제품의 도입 및 운전을 통한 기술축적으로 추진하였다. 인산 연료전지는 현재 상용화를 앞두고 MW급 발전시스템이 실증단계에 있다.

Moonlight 계획에서는 목표지향적 연구 유도로 참여업체간 경쟁체제를 유지하여 효과를 거두고 있으며, 신에너지 개발기구(NEDO)가 많은 분야의 개발을 주도하고 있다.

현재 일본의 Moonlight계획에서의 인산형 연료전지 연구개발체제는 표 2, 3과 같다.

표 2. 미국 및 일본의 연료전지 연구 개발 체계

세부 기술명	기술 개발 현황 및 계획
PAFC/U. S. A.	<ul style="list-style-type: none"> * IFC(International Fuel Cell)와 Westinghouse에 의하여 전력사업용 및 산업용 1-11MW unit가 개발되고 있으며, IFC는 현지 설치형 cogeneration 목적의 200kW 시스템을 개발, 판매하고 있다. * 현지 설치형 <ul style="list-style-type: none"> IFC-40kW stack 개발, 평가 -200kW plant 상용화 기술 개발 완료, 판매중 * 전력사업용 <ul style="list-style-type: none"> 9개 전력회사 및 UTC(United Technology Corp., 1971)-IFC (4.5MW, 1984)-IFC(11MW 분산형 발전시스템, 1991에 시험운전), Westinghouse(375kW 산업용 열병합발전용 개발, 시험운전 중(1991). * 상업화가 임박함에 따라 국가지원 감소. <ul style="list-style-type: none"> 대용량화에서 200kW 정도의 현지 설치형 및 열병합 발전용에 노력. 원가 절감, 본체 및 시스템의 수명 향상이 문제(4만 시간 이상 작동).
PAFC/JAPAN	<ul style="list-style-type: none"> * 전력 수급형 연료전지 <ul style="list-style-type: none"> -NEDO 주관으로 1,000kW급 stack의 자체 개발 시작(1983) -Toshiba, Hitachi의 고온, 고압형 stack- 화력 발전 대체용 원료 -Fuji, Mitsubishi의 저온, 저압형 stack- 분산 설치용 개발 완료 * 현재 설치형 연료전지(1986~) <ul style="list-style-type: none"> -메탄올을 사용하는 낙도지역 전원 공급용 발전시스템, 도시가스를 사용하는 현지 설치형 열병합 발전 시스템의 개발 및 실증시험 수행-MW급 plant용 고효율 터보 압축기 개발 * NEDO 주관 PAFC 개발 사업(1991~1996)-가압 5MW 및 상압 1MW 발전 plant의 건설 및 실증실험이 목표-9개의 전력회사, 4개의 가스회사 및 전력 중앙연구소로 구성된 PAFC 연구조합 결성. * 도쿄전력은 미국 IFC의 stack을 도입하고 Toshiba가 주변기기 및 plant를 담당, 11MW 발전 plant를 건설, 시험운전. * 도쿄가스 및 오오사카 가스는 1972년부터 PAFC 운전시험, 50~200kW 시스템의 상용화 사업을 시작, 1993년경에 시장화 예정.

표 3. 미국 및 일본의 인산형 연료전지 개발 단계

	76	80	85	90	95	2000	2005
미국	기술 개발 및 MW급 plant			상용 plant 실증시험	상업용 plant 건설		
일본	요소기술	1MW 발전 plant		1-5MW급 plant 실증 시험	상업용 plant 건설		
		20kw On-site system					

5. 3. 유럽의 연료전지 개발 동향

연료전지 개발은 20여년전 시작되었고, 1975~1977년을 전후하여 연료전지 프로그램이 중단되었으나 1986년 유럽공동체(CEC, Commission of European Communities), 네덜란드, 이태리의 연구 개발 프로그램으로 재개되었다.

이후 독일, 스페인, 노르웨이, 스위스 등의 나라와

ABB, Ansaldo, GEC, MBB, Siemens 등의 회사가 연료전지 개발에 참여하고 있다.

5. 4. 문제점 및 대책방향

일부 선진국의 민간기업이 고도의 기술을 보유하고 있어 기술이전이 곤란하므로 독자적인 개발 없이는 기술의 보유가 불가능한 상황이다. 연료전지의 기술은

전기, 화학, 재료 등 종합적인 첨단기술의 접목이 요구되므로 재료개발 등 원천기술의 확보와 요소기술의 경험을 가진 산업체의 참여가 매우 절실하다. 범국가적인 연구사업으로 채택되어 성공적인 성과를 얻기 위해서는 국내의 연구인력의 양성 및 관리가 앞서야 되며 또한 국제공동연구의 추진이 필요하다. 전문가 뿐만 아니라 일반인에게도 그 중요성을 홍보함과 아울러 국내연구진들의 보다 활발하고 적극적인 연구자세와 분위기 조성이 활성화되어야 한다고 생각된다. 끝으로 현재 국내 인산형 연료전지 기술개발 추진현황을 표 4에 나타내었다.

표 4. 국내 PAFC 기술 개발 추진현황

주요개발과제명	개발기간	수행사업명
• 인산형 연료전지용 연료개발 시스템의 개발	89. 10~92. 12	유 공
• 연료개질기 개선연구	"	경 북 대
• 승합형 DC- 변환기술 시스템 종합	89. 10~91. 12	서 울 대
• GTO를 이용한 연료전지용 직류·교류변환기 개발	89. 10~92. 12	충 남 대
• 인산형 연료전지용 stack 제조기술 개발	89. 11~93. 12	호 유
• 인산형 연료전지용 전극제작 및 응용	90. 4~92. 12	한 양 대
• 연료전지용 전극제조에 관한 연구	90. 4~92. 12	연 세 대
• 대체 에너지 전원의 계통연계 운전 실용화 기술 개발	90. 8~93. 12	전 기 대
• 40kW급 인산형연료전지 발전 시스템 운전 시험 연구	90. 7~94. 12	한전기술
• 인산형 연료전지 발전설비의 성능개선 연구	90. 9~92. 8	한전기술
• 연료전지 40kW급 발전시스템 종합 기술 개발	90. 8~93. 12	가스공사

참고문헌

1. Y. W. Kim, J. I. Park, and J. S. Lee: *Met. Fin. Soc. Kor.*, **22**, 55(1989).

2. J. A. S. Bett, K. Kinoshita, and P. Stonehart, *J. Catal.*, **41**, 124(1976).

3. K. F. Blurton, H. R. Kunz, and D. R. Rutt, *Electrochimica Acta*, **23**, 183(1978).

4. J. Mcbreen, H. Olender, and S. Srinivasan, *J. Applied Electrochem.*, **11**, 787(1981).

5. M. Watanabe, H. Sei, and P. Stonehart, *J. Electroanal. Chem.*, **261**, 375(1989).

6. A. Guerreroruiz, *J. Catal.*, **99**, 171(1986).

7. P. J. Hyde, C. J. Maggiore, and S. Srinivasan, *J. Electroanal. Chem.*, **168**, 383(1984).

8. P. Stonehart, *Int. J. Hydrogen Energy*, **9**, 921(1984).

9. A. Honji, T. Mori, and Y. Hishinuma, *Denki Kagaku*, **57**, 48(1989).

10. L. J. Hillenbrand and J. W. Lacksonen, *J. Electrochem. Soc.*, **112**, 249(1965).

11. A. P. Fickett, "Fuel Cell Electrocatalyst- Where Have We Failed?", Electrochemical Soc. Spring Meeting, Philadelphia(1977).

12. P. Stonehart and J. Baris, "Preparation and Evaluation of Advanced Electrocatalyst for Phosphoric Acid Fuel Cells", First Quarterly Report NASA CR 159843, January-March 1980.

13. "Integral Cell Scale-up and Performance Verification", EPRI Project 842-4, Final Report No. EM1134, June 1979, Power Systems Div., United Technologies Corp.

13a. "Improvement of Fuel Cell Technology Base", Technical Progress Report No. 30, Contract No. DE AC 03 79 ET 11301, prepared for the U. S Department of Energy by United Technologies Corp., September(1979).

14. "Stability of Acid Fuel Cell Cathode Materials", EPRI Project 1200-2, Interim Report No. EM1664, Stonehart Associates, January 1983.