

연료전지를 이용한 열병합 발전시스템 고찰

A Study of Fuel-Cell Cogeneration system

목 차

- | | |
|----------------|---------------------|
| 1. 머리말 | 4. 열병합발전시스템 구성 |
| 2. 연료전지 개요 | 5. 열병합 발전시스템의 운영 사례 |
| 3. 국내의 기술개발 동향 | 6. 맺음말 |



都 有 奉*
Doh Yoo Bong

1. 머리말

에너지수요의 확대, 중장기적인 자원제약의 현 재화(顯在化) 등에 따라 에너지의 안정공급확보의 필요성이 점점 높아지고 있는 한편 에너지소비의 증대에 의한 지구환경의 오염, 온난화 등이 세계적인 문제로 되고 있다.

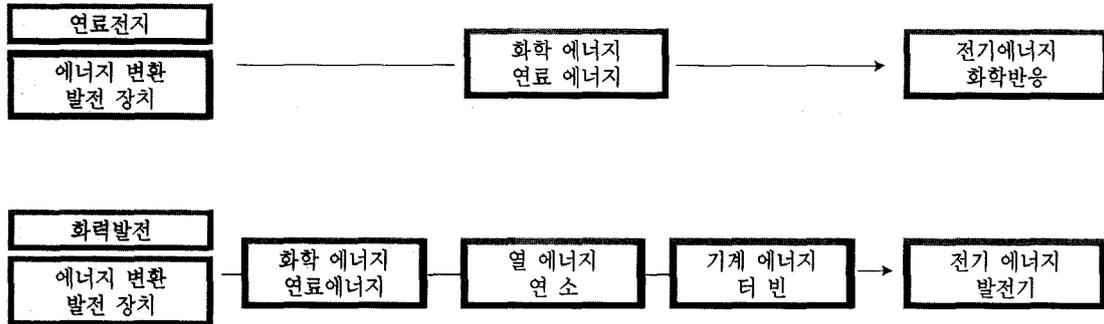
이에 따라 새로운 에너지절약 및 신에너지 기술 개발의 기운이 고조되어가고 있으며, 특히 그 중에서도 연료전지는 고효율이고 더욱이 배기가스가 깨끗하여 환경적합성에 우수한 차세대 열병합 발전시스템으로서 실용화가 기대되고 있다.

2. 연료전지(Fuel Cell) 개요

연료전지는 천연가스 등의 원연료를 개질(改質)하여 얻어지는 수소와 공기 중의 산소와 전기화학적으로 반응시켜서 직접 발전하는 소위 화학발전이라고 부르고 있다.

종래의 발전기술, 예를 들면 화력발전의 경우 연료가 가진 에너지를 열에너지로 변환하여 터빈에서 회전에너지를 경유하여 <그림 1>과 같이 전기에너지를 얻는 것에 비하여 발전효율이 높고 주위환경 영향(대기오염·진동·소음)이 거의 없다.

*발송배전기술사, 에너지관리공단 집단에너지사업본부, 노원열병합발전소 공무과장.



〈그림 1〉 전기에너지의 변환과정

2.1 연료전지의 종류

연료전지는 사용하는 연료, 산화제, 전해질, 작동 온도, 사용하는 전극의 종류 등에 따라 구분될 수 있으나 주로 전해질과 작동 온도에 따라 분류한다.

일반적으로 〈표 1〉과 같이 전해질의 종류에 따라 알칼리 연료전지, 인산형 연료전지, 용융탄산염 연료전지, 고체전해질 연료전지 등으로 구분하며, 작동 온도에 따라 저온연료전지(100°C 이하), 중온연료전지(100~500°C), 고온연료전지(500°C 이상) 등으로 구분하기도 한다.

저온연료전지에는 알칼리 수용액이나 산(acid) 용액을 쓸 수 있으며 그 외에도 이온교환막, 생화

학 연료전지, 모세관 연료전지, 액체연료에 의한 연료전지 등이 있다.

중온연료전지는 전해질로서 주로 고농도의 인산(H₃PO₄) 수용액을 이용하는 인산형 연료전지가 있다. 또한 고온연료전지는 600~700°C에서 작동되는 용융탄산염 연료전지와 800~1,100°C에서 작동되는 고체전해질 연료전지가 있다.

(1) 알칼리형 연료전지(Alkaline Fuel Cell)

알칼리형 연료전지는 낮은 온도에서 작동하며, 수산화칼륨(KOH) 수용액을 전해액으로 사용한다. 알칼리성 용액은 산성(acid) 용액에 비해 부식성이 낮으며 높은 전도도를 가지고 있으나 공기

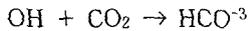
〈표 1〉 각종 연료전지의 비교

종류 내용	제1세대		제2세대	제3세대
	알칼리형	인산형	용융탄산염형	고체전해질형
전해질	KOH	H ₃ PO ₄	K ₂ CO ₃ /LiCO ₃	안정화 ZrO ₂
작동 온도	상온~100°C	150~300°C	600~700°C	800~1,100°C
연료	순수소	천연가스, 메탄올	천연가스, 석탄가스	석탄가스
산화제	순산소	공기	공기	공기
효율(%)	45~60	40~45	45~50	50~60



기술해설

중의 이산화탄소(CO₂)와 반응하여 전도도가 낮은 중탄산(Bicarbonate) 이온을 만드는 단점이 있다.



여기서 생성된 중탄산(HCO₃)은 고농도의 알칼리 용액 중에서는 녹지 않으며 전극 기공을 막아서 손상을 주거나 효율을 떨어뜨린다.

따라서 순수 수소(H₂)를 연료로 사용하고 산화제로는 순수 산소(O₂)가 사용되므로 이로 인하여 H₂/O₂ 연료전지라고도 하는데, 높은 신뢰도를 갖기 때문에 우주선의 전원용 등 특수 용도에 사용된다.

(2) 인산형 연료전지(Phosphoric Fuel Cell)

중온(150~300°C) 범위에서 작동되는 연료전지는 여러 종류의 산(acid) 용액을 전해질로 사용할 수 있으나 인산(H₂SO₄) 용액이 가장 많이 사용되고 있다.

인산형 연료전지는 알칼리형 연료전지와는 다르게 이산화탄소(CO₂)의 영향을 받지 않으므로 순수 산소 대신에 공기를 산화제로 사용할 수 있으며, 연료로는 메탄(주로 천연가스의 메탄을 이용)이나 납사를 증기개질(Steam reforming)하여 수소가 풍부한 기체로 바꾸어 사용한다.

이때 천연가스나 납사가 포함하고 있는 유황은 전극의 성능저하 및 환경오염의 원인이 됨으로 증기개질 이전에 산화아연(ZnO)층을 거쳐 제거하고 개질후의 일산화탄소(CO)는 전극촉매에 손상을 주어 전극열화의 원인이 되므로, 수성가스 반응으로 수소(H₂) 및 이산화탄소(CO₂)로 변환하여 연료로 사용하게 된다. 인산형 연료전지는 여러 종류의 연료전지 중에서 기술적으로 현재 가장 발전되어 있으며 상업용 전원공급원으로 유망시되고 있다.

(3) 용융탄산염형 연료전지(Molten Carbonate

Fuel Cell)

용융탄산염 연료전지는 600~700°C에서 작동되며, 전해액으로 탄산칼륨(K₂CO₃)/탄산리튬(Li₂CO₃)을 사용한다. 고온에서 사용되므로 촉매가 필요하지 않으며, 연료중의 일산화탄소(CO)는 연료전지 반응에 사용하기 때문에 제거할 필요가 없다.

천연가스 및 납사를 연료로 사용할 수 있으나 더욱 저렴한 석탄가스를 사용하는 방향으로 연구 중이며 높은 온도에서의 작동으로 발생된 배열을 이용한 대용량의 복합발전방식으로 활용될 전망이다.

(4) 고체전해질형 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell)

고체전해질 연료전지는 800~1,100°C에서 작동하는 것으로서 산화질로 산화지르코늄(ZrO₂) 격자 속에 산화칼슘(CaO), 산화이트륨(Y₂O₃) 등을 첨가하여 안정화 산화지르코늄(ZrO₂)을 만들어 전해질로 사용한다.

Ca²⁺나 Y³⁺이온을 Zr⁴⁺이온과 치환하면 이온 간의 차이에 의해 빈자리가 생기며 이를 통해서 이온이 전달되어 전류가 흐르게 된다.

이러한 고체전해질 연료전지는 전극, 전해액의 안정성 및 높은 온도에 따르는 부식문제, 또한 전해질이 고체이므로 저항분극이 커서, 얇은 전해질판을 만들어야 하는 등, 많은 문제점을 가지고 있으며 아직 초기 연구단계이다.

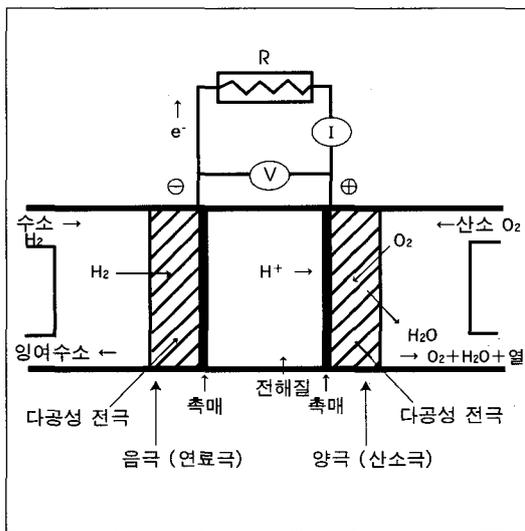
용융탄산염형 연료전지와 같이 양질의 높은 배열을 이용한 복합발전이 가능하며 석탄가스를 연료로 사용할 수 있다.

2.2 발전 원리

연료전지의 발전 원리는 전기분해의 역반응, 즉

수소와 산소가 결합하여 전기와 발생하는 구조를 이용하고 있다.

〈그림 2〉는 대표적인 예로서 인산형 연료전지의 발전 원리를 나타낸다. 연료전지는 양극(+), 전해질, 음극(-)의 3개 부분으로 구성되어 있다.



〈그림 2〉 인산형 연료전지의 발전 원리

양극의 활성물질은 산화제, 음극의 활성물질은 환원제, 전해질은 이온형으로 전하를 수송하는 물질이다. 양극, 음극은 다공성 전극으로 불리우고, 한 면은 전해질(인산)에 접촉되고 다른 면에는 반응가스(수소 : 음극, 산소 : 양극)가 접하게 된다. 발전반응은 전극(고체상), 인산(액상), 수소 또는 산소(기상)의 3상이 접촉되는 계면(3상의 계면)에서 일어나게 된다.

음극에서는 $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ 의 반응에서 전자의 방출과 H^+ 이온이 생성된다.

양극에서는 $\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ 의 반응이 나타난다. 전자는 외부부하를 통하여 음극에서

양극으로 흐르게 되고, 음극에서 생성한 H^+ 이온은 전해질을 통하여 양극에 도달한다. 전체 반응으로서는 $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$ 로 된다.

결국 연료전지의 발전반응은 물의 전기분해의 역반응으로 방출되는 전자의 흐름을 전기로서 뽑아쓰는 것이 연료전지이다.

2.3 연료전지의 특성

연료전지는 필요에 따라 수십 kW의 소규모 발전으로부터 수십만 kW의 대규모 발전이 가능하므로 수용가설치(On-site), 분산전원용 및 전원공급용 뿐만 아니라 기존 화력발전의 역할을 그대로 수행할 수 있다.

기존방식에 비해 효율이 높고, 열병합 발전이 가능하며, 설비를 모듈형태로 만들어 전력수용지역 부근에 설치할 수 있고 부하변동에 반응이 빠른 것 등의 여러 가지 장점을 갖는다.

(1) 고효율발전

연료전지는 기존 화력발전과는 달리 연소과정이나 기계적 일이 필요 없는 직접변환 방식이므로 중간 단계의 에너지 손실을 피할 수 있다.(열기관이 아니므로 카르노싸이클에 의한 제한을 받지 않음)

연료전지 효율은 단위전지의 성능에 관계되므로 출력규모에 관계없이 거의 일정한 효율을 갖기 때문에 특히 낮은 출력에서의 효율이 타 발전방식보다 월등히 높은 특성을 갖고 있다. (최신예 화력발전의 효율 향상의 기대는 약 43%정도, 그러나 연료전지방식의 발전효율은 약 40~60%)

또한 기존화력발전은 정격출력에서 가장 효율적인 반면, 연료전지는 정격출력의 25~100%의 넓은 범위에서 거의 일정한 효율을 갖는다.

(2) 배열의 이용(열병합 발전)



기술해설

발전과정에서 발생하는 높은 온도(인산형 연료 전지 : 약160~180°C)의 반응열을 회수하여 상가나 주거지역의 냉난방, 온수공급 또는 산업공정열로 이용할 수 있다. 따라서 이때의 전체 효율은 최대 80~90%까지 가능하며 에너지 이용면에서 뚜렷한 장점을 갖는다

(3) 환경 특성

연료전지는 화석을 연료로 사용하므로 개질기에 의한 조작이 반드시 필요하다.

이 경우 탈황, 분진제거를 충분히 할 수 있기 때문에 SOx와 분진의 방출이 극히 적으며, 개질기의 조작도 높은 온도에서 일어나지 않으므로 NOx의 방출도 적다.

또한 연료전지 본체에는 기계적 구동 부분이 없고, 가스공급기 등에 약간의 소음·진동 등이 생기나 기존 발전시스템과는 비교도 안될 만큼 적다.

(가) 질소산화물(NOx)

〈표 2〉에 각종 용도의 연료전지, 가스터빈, 디젤엔진 등의 발전장치의 질소산화물 배출량을 나타낸다.

인산형 연료전지에서의 NOx 배출량은 디젤엔진에 비하여 두 자리 이상, 가스터빈에 비해서도 한 자리 적은 수치이다.

연료전지에서 NOx의 배출량이 적은 최대의 이유는 연료를 개질해서 수소가스를 만든 후 이것을 연료전지내에서 수소의 약 80%를 발전에 소비한 저칼로리가스와 같은 전지내에서 약 50%를 소비한 낮은 산소의 공기를 연소시켰기 때문에 연소온도가 낮고, 본질적으로 서열(Thermal)NOx가 발생하기 어려운 점, 그리고 사용하는 연료에 질소가 포함되지 않아 연료NOx가 발생하지 않는 것에 의한다.

〈표 2〉 각종 발전장치의 NOx 배출량

연료전지 발전장치			
용도	용량	연료	NOx ppm
전력용	1,000kW	LNG	11
수용가용	50kW	도시가스	2
도서용	200kW	메타놀	2
차량용	25kW	메타놀	< 1

재래 발전플랜트	
발전플랜트	NOx ppm
디젤엔진	1,000이상
가스엔진	300~500
가스터빈	70~100
화력발전	80이하

(나) 유황산화물(SOx)

발생하는 SOx량은 실질상 연료에 포함하는 유황분량에 의하여 정하여 진다.

NOx와 같이 연소시키는 방법 등의 기술적 방법에 의하여 감소시키는 것은 불가능하다. 연료전지의 경우는 배출 SOx량이 극히 적으므로 통상적으로 검출한계 이하이다. 이것은 도시가스 등의 유황분이 적은 연료를 사용하고 있는 외에 배열을 이용해서 탈황을 하기 때문이다. 연료전지는 개질 촉매가 유황에 의한 피해가 심하기 때문에 표준실비로서 탈황기(탈황율 약 99%)가 설치되어 있어 대기중으로 SOx가 배출되지 않는다.

(다) 탄산가스(CO2)

탄산가스는 전혀 무해하기 때문에 법적 규제 대상으로 되어있지 않지만 최근 지구온난화 원인의 하나로서, 그 규제가 세계적으로 논의되고 있다.

지금까지 수치적으로 발표된 것으로는 '88년 6월 캐나다 토론토에서 개최된 회의에서 제안된

『2005년까지 1989년 수준의 약 20%를 감소시킨다』라고 하는 방안이 있다.

연소를 전제하는 한 연료중에 포함된 탄소는 모두 CO₂로 변화한다. 따라서 발생하는 CO₂량을 감소시키는 것은 단위발열량당 탄소량이 적은 연료를 사용하던가 발전효율을 좋게 하던가 또는 열병합 발전에 의하여 열공급을 포함한 에너지이용효율을 높이는 것 이외에 방법은 없다. <표 3>에 발전장치별로 CO₂ 발생량을 나타낸다

<표 3> 발전장치별 CO₂ 발생량

200kW발전 플랜트		5MW발전 플랜트	
기종과 연료	CO ₂ 발생비율	기종과 연료	CO ₂ 발생비율
연료전지 (도시가스 13A)	100	연료전지 (도시가스 13A)	100
가스엔진 (도시가스 13A)	140	디젤엔진 (A중유)	140
디젤엔진 (A중유)	190	가스엔진 (도시가스 13A)	150
		가스터빈 (A중유)	220

(라) 건설공기

모든 구성품이 모듈형태로서 대량생산이 가능하고 수송이 용이하며 신속하게 조립설치가 가능하여 건설공기의 단축이 가능하다. 모듈단위로 보수, 점검 및 교환을 쉽게 할 수 있을 뿐만 아니라 유닛 용량이 큰 기존 발전방식에 비해 가동률이 높다. 또한 모듈단위의 증설도 가능하여 부하증가에 따라 탄력 있게 대처할 수 있으며 적은 부지에도 설치할 수 있어 입지확보의 용이성을 갖고 있다.

(마) 연료의 다양성

특수용도에 사용되는 알칼리전지는 순수한 수소를 사용해야하나, 인산형 연료전지는 탄화수소 계열인 천연가스(LNG), 도시가스(LPG), 메탄올, 메탄가스 등을 다양하게 사용할 수 있으며, 용용

탄산염 및 고체전해질형 연료전지의 경우는 석탄 가스화설비와 연결시켜 석탄가스를 직접 연료로 사용할 수도 있다

3. 국내외 기술개발 동향

연료전지는 1839년 영국의 Grove 卿이 물의 전기분해 역반응으로 발전할 수 있는 것을 실험으로 증명하였다. 이후 100여년에 걸쳐 유럽을 중심으로 많은 사람들에 의해서 연구되어 왔지만, 기술이나 재료의 벽에 부딪쳐 실험실 영역을 벗어나지 못했다. 그러다가 영국의 Bacon 卿이 1952년에 현재의 연료전지 원형(原型)이라고 할 수 있는 수소·산소형 전지의 기술을 개발한 것을 계기로 실용화를 향한 연구개발이 활발하게 전개되었다.

3.1 해외 기술개발 현황

(1) 미국

본격적인 실용화개발은 미국에서 이루어졌는데, 먼저 우주선용 전원으로서 1961년 NASA에 의하여 연구가 개시되어 1965년의 “제미니”나 1966년의 “아폴로”에 1kW급 알칼리형 연료전지가 설치되었다. 한편 산업용으로서의 개발은 <표 4>와 같이 우주선용 보다 약간 늦게 1967년에 발족한 TAGET계획(소용량 연료전지 개발)과 1971년 발족한 FCG-1 계획(대용량 연료전지 개발)에 의한 미연방정부의 재정지원으로 인산형을 주체로 한 PROJECT가 시작되었다. 전자의 계획은 가스회사 GROUP을 중심으로 12.5kW의 발전시스템에서 40kW의 實證機 개발을 거쳐 200kW급을 개발하였고, 후자의 계획은 전력회사 GROUP을 중심으로 4,500kW의 實證機를 거쳐 11,000kW급을 개발하였다.



기술해설

〈표 4〉 미국의 연료전지 개발현황

프로젝트명	내 용	비 고
TARGET GRI	12.5kW 인산형 연료전지 64기 시험	'67 ~ '76
	40kW 인산형 연료전지 52기 시험	'77 ~ '84
	200kW 인산형 연료전지 개발	'90 ~ 현재
FCG-1	1MW 인산형 연료전지 시험	'71 ~ '85
	4.5MW 인산형 연료전지 시험	'85 ~ '88
	11MW 인산형 연료전지 시험	'88 ~ 현재
기타	20kW급 용융탄산염 스택제작(MC-POWER사)	'89
	100kW급 용융탄산염형 스택 운전시험(PG&G사)	'91
	2MW 상용화 플랜트 건설을 위한 120kW급 스택시험중	'96
	20kW/25kW 고체전해질형 스택실험 완료	'92
	100kW급 고체전해질형 SCE사에서 시험중	'94

(2) 일본

일본에서의 연료전지 개발이 본격적으로 시작된 것은 〈표 5〉와 같이 1981년도에 통산성 공업기술원의 MOONLIGHT 계획 중에서 연료전지 PROJECT가 착수된 때이다. 이중 전력용 연료전지 발전 PLANT의 연구개발은 NEDO (신에너지·산업기술종합개발기구)에서 '81년부터 '87년

까지 7년간에 걸쳐 『1,000kW급 인산형 연료전지 발전시스템』에 대해서 석유대체·성에너지형 전원의 실용화를 목표로 PROJECT를 수행하여, 분산 배치용(저온저압형)과 화력발전 대체용(고온고압형)의 2기종이 개발되었다. 그리고 자가발전용에 대해서는 정부의 PROJECT 일환으로 關西전력, 大阪가스, 三菱전기가 개발한 200kW, 대형 가스

〈표 5〉 일본의 연료전지 개발현황

프로젝트명	내 용	비 고
Moonlight New Sunshine 계 획	1,000kW급 인산형 연료전지 2기 시험완료	'81 ~ '88
	5MW급 인산형 실증실험설비 개발	'91 ~ '96
	1MW급 용융탄산염형 개발중	'93 ~ '97
기 타	용융탄산염형 개발(외부개질형 10kW, 20~25kW, 100kW)	'87 ~ '93
	용융탄산염형 개발(외부개질형 250kW)	'93 ~ '96
	용융탄산염형 개발(내부 개질형 100kW) 계획	'97
	고체전해질형 1.32kW급 실증운전(미쓰비시 중공업)	'92
	고체전해질형 10kW급 스택개발 계획	'97

<표 6> 유럽의 연료전지 개발현황

구분	인 산 형	용융탄산염형	고체전해질형
독일	80kW급 시험 200kW급(미국) 실증시험중	100kW급 개발중	수십kW급 개발계획중
이태리	1MW급 운전시험(미국) 20~200kW급 운전시험중(미국, 일본) 1kW급 개발	1kW급 스택제작 시험중	기초연구 진행중
네덜란드		10kW급 스택제작 시험중 50kW급 개발중	기초연구 진행중
기타	스페인, 스웨덴 등에서 일본 FUJI 50kW시험중 스웨덴, 덴마크, 핀란드, 스위스 등에서 200kW 시험중	IEA 가입국 등에서 기초연구 진행중	IEA 가입국 중심기 초연구진행중

회사(東京, 大阪, 東邦가스)와 Fuji전기가 공동으로 개발한 50/100kW급 및 미국의 ONSI(IFC와 도시바 합병기업)가 개발한 200kW 등과 같이 102대('95년 3월 기준 28MW 가동중)가 일본 각지에서 신뢰성시험(Field test) 운전이 실시되고 있다.

(3) 유럽

유럽에서는 '70년대 초에 개발이 시작되었으나 '75~'77년을 전후로 중단되었다가 '86년 CEC (Commission of European Communities), 이태리, 네덜란드 등이 본격적으로 시작하였다.

그리고 <표 6>과 같이 미국, 일본보다 기술이 뒤진 인산형 분야는 시스템을 도입하여 기술을 확보하고, 개발여지가 있는 용융탄산염형과 고체전해질형은 자체적으로 기술개발을 추진하고 있으며, 네덜란드, 이태리, 독일 및 CEC 등이 요소기술 및 스택개발을 추진중에 있다

3.2 국내 기술개발 현황

우리나라의 연료전지 기술개발은 '85년 에너지 기술연구소가 한전과 공동으로 인산형 연료전지 스택을 일본에서 도입하여 시스템을 설계하고 주변기기 개발 등 운전특성을 연구하기 시작하였다. <표 7>과 같이 '87년 과기처 특정연구개발사업을 2kW급 연료전지 본체 및 시스템 개발을 목표로 에너지연구소 주관으로 추진하여 '89년에는 국책 개발사업으로 추진하였다.

'89년 통산산업부 대체에너지 사업으로 40kW급 인산형 연료전지 개발을 분야별로 나누어 호남정유, 서울대, 포항공대가 본체개발을, 유공과 경북대학이 개질기를, LG산전이 전력변환장치를 개발하게 되었다. 용융탄산염 연료전지는 '89년부터 KIST에서 기본기술 및 기초연구를 수행하여 현재 2kW급 스택을 개발중에 있다.

'93년에는 정부에서 과학기술처와 통산산업부가 이원적으로 수행하던 연료전지 개발사업을 통산산업부 G7 프로젝트로 통합하여 추진중에 있으며, 2001년까지 다음과 같은 목표로 추진하고 있다.



기술해설

〈표 7〉 우리나라 연료전지 개발현황

제1단계 ('87~'91)	제2단계 ('92~'96)	제3단계 ('97~2001)
<ul style="list-style-type: none"> · 인산형 연료전지 개발 500W급 스택 개발 주변장치 설계, 기반기술 · 용융탄산염 기반기술 단위전지 제작기술 · 고체전해질 기반기술 	<ul style="list-style-type: none"> · 인산형 연료전지 실용화 50kW급 시스템 개발 200kW급 시스템 개발 · 용융탄산염 연료전지 기술 2kW 급 전지구성, 시험 · 고체전해질 연료전지 기술 100W급 수택구성, 시험 	<ul style="list-style-type: none"> · 인산형 연료전지 실용화 200kW급 시스템 개발 MW급 플랜트 운영기술 · 용융탄산염 연료전지 기술 100kW급 외부개질 기술개발 20kW급 내부개질 기술개발 · 고체전해질 연료전지 기술 2kW급 스택개발
65억원	318억원	711억원

4. 열병합 발전시스템 구성

연료전지를 이용한 열병합발전시스템은 기본적으로 (그림 3)과 같이 연료를 수소로 변환시키는 연료개질장치, 전기를 발생시키는 연료전지 본체, 연료전지 본체에서 발전된 직류전력을 교류전력으로 변환시키는 전력변환장치, 열병합발전설비의 운전과 최적효율을 유지하기 위한 제어시스템을 갖추게 된다.

4.1 연료개질 장치

연료전지의 연료로는 천연가스, 납사, 메탄올 등의 탄화수소 계열의 연료가 사용된다. 연료개질기는 이들 발전용 연료로부터 실제 발전에 필요한 수소성분이 많이 포함된 가스로 변환시켜 주는 역할을 한다.

4.2 연료전지 본체

연료전지 본체는 일반 발전소에서의 발전기에 해당하는 부분으로서, 연료개질기에서 공급된 수

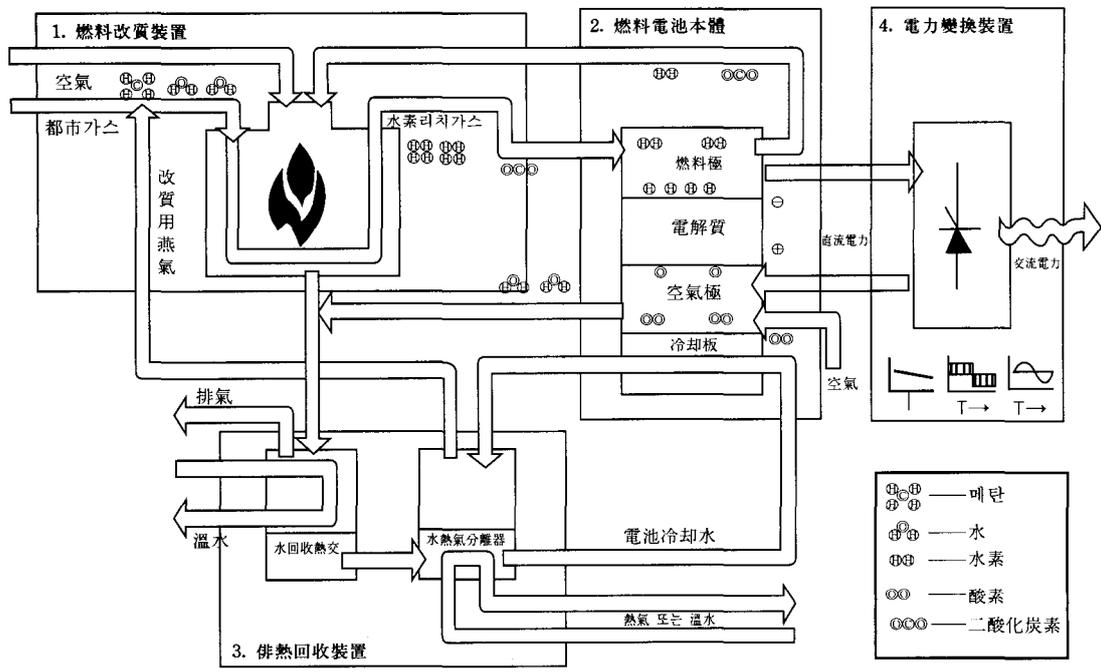
소가스와 공기중의 산소를 이용하여 앞에서 설명된 발전원리에 의해 직류발전을 하는 연료전지의 핵심구성 요소이다.

실제의 구성은 수십 개의 단위전지를 직렬로 연결하여 전지스택(stack)을 구성하고 이를 여러 개의 직병렬로 연결하여 직접 전력을 얻도록 되어 있으며 전력량의 조절은 모듈을 추가 설치함으로써 해결할 수 있는 장점을 갖고 있다.

4.3 배열회수 장치

연료전지 본체나 개질장치에서 발생된 배열을 회수하여 상가나 주거지역의 냉난방, 온수공급 또는 산업공정열로 이용한다.

인산형 연료전지에서의 열회수는 보통 고온배열과 저온배열 2가지로 구분되며, 고온배열은 170°C의 포화증기로서 2중효용 흡수식 냉온수기에서 하절기에는 냉열(冷熱)로서 회수하고 동절기에는 난방부하에 이용된다. 저온배열은 70°C의 온수가 열교환기를 통하여 저탕조에 저장시킨 후 업종에 따라 주방용이나 급탕용으로 사용하게 된다.



〈그림 3〉 열병합 발전시스템 개념도

4.4 전력변환 장치

연료전지 본체에서 발전되는 직류전력을 기존의 상용 교류전력으로 사용하기 위한 전력변환장치(인버터)가 필요하다.

연료전지에 적용되는 인버터는 전력용 사이리스터(Thyristor)나 전력용 트랜지스터 등과 같은 전력용 반도체 소자들의 도통(on) 및 비도통(off) 동작에 의해 직류전력을 교류전력으로 변환시켜 기존 교류부하를 이용할 수 있도록 한 장치이며, 수용가에 공급하기 위하여 적정 전압, 적정주파수 및 필요한 상(3상 또는 단상)의 교류전력으로 변환시킨다.

4.5 제어시스템

제어시스템은 자동운전을 목적으로 직접 디지털

제어(DDC:Direct Digital Control)방식을 채용하고 있다.

또한 신뢰도를 높이기 위하여 주요연산부, 전원부 등을 2중화하는 경우도 있으며, 각각의 계통별로 운전상태치를 파악, 평가 해석하기 위한 데이터 수집장치를 별도로 설치하기도 한다. 보통 연료전지에서 발생된 전기와 열은 기저부하(Base Load)로 사용하게 되므로, 플랜트의 출력제어는 먼저 출력지령치를 전력변환 장치에 보내어 사이리스터의 위상제어에 의하여 출력 증감을 행하게 된다.

출력 증감에 의하여 연료전지 본체에서 소비되는 수소 및 산소의 양이 변화하기 때문에, 소비량(전류치)에 상당한 유량을 연료급 입구 및 공기급 입구 조정밸(Control Valve)에서 제어한다. 그리



기술해설

고 연료극 입구 조정변은 개질기 온도제어를 겸하고 있으며, 천연가스 유량제어는 개질기 입구 계통의 압력을 일정하게 제어하는 것에 의하여 행하여진다.

5. 열병합 발전시스템의 운영 사례

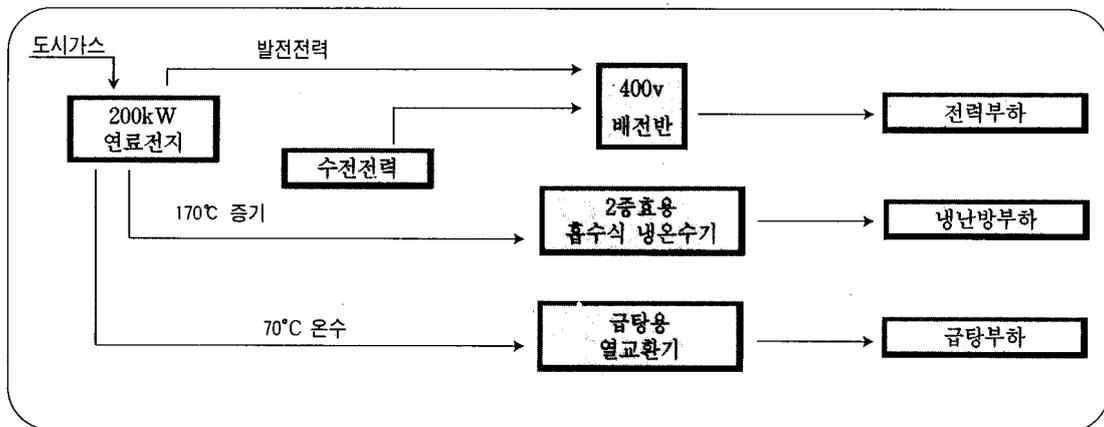
5.1 호텔적용 사례

연료전지(200kW)를 이용한 열병합 발전 시스템을 호텔에서 적용한 사례를 들어보면, <그림 4>와 같이 연료전지에서 발생한 전력은 전력계통(440V)에 접속하여 계통연계 운전을 하고 있으며, 연료전지에서의 열회수는 고온배열과 저온배열 2가지로 구분하여, 고온배열은 170°C의 포화증기로서 2중효용 흡수식 냉온수기(20냉동톤×2대)에서 냉열(冷熱)로서 회수하여 호텔객실 약 140실의 기저(基低) 냉방부하에 이용된다. 저온배열은 70°C의 온수가 열교환기를 통하여 저탕조에 저장시킨 후 주방용과 객실용으로 사용되며, 1일 수요량을 자동적으로 선택하여 열회수가 가능한 시스템으로 되어있다. 이 호텔은 객실수 535실,

계약전력 2,200kW로서 이 연료전지에 의하여 전력의 약 10%, 열수요의 5%를 담당하고 있다. <표 8>은 신뢰성 시험(Field test)을 통하여 연료전지의 운전실적을 나타내고 있으며, 회수에너지 효율은 평균 83.4%이다.

5.2 전화국 적용사례

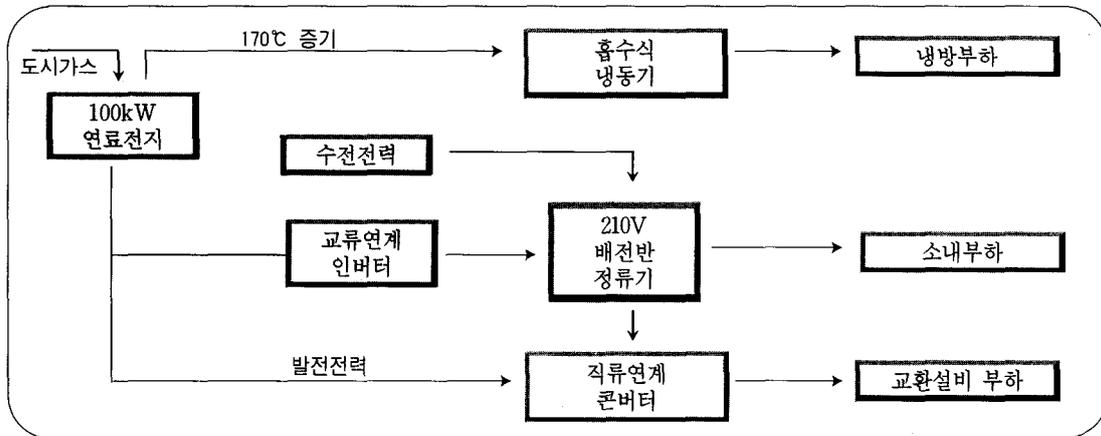
수전 전력이 1,200kW이고 지상 6층, 지하 1층(연면적 24,600m²)인 전화국에서 적용한 사례를 들어보면, <그림 5>와 같이 연료전지(100kW)에서 발생한 직류전력은 전화국의 특징을 그대로 살려 직류연계 콘버터(Converter)를 통하여 전화국의 직류전원 계통(DC 48V)에 연계시켜 전화국환설비부하에 사용하게된다. 그러므로 정전시에도 통화의 품질 유지와 신뢰도 및 고객서비스 향상을 가져올 수 있으며, 일부는 교류연계 인버터(Inverter)를 통하여 전력계통(AC 210V)에 접속하여 소내부하로 계통연계 운전을 하고 있다. 그리고 연료전지에서 증기로 회수된 고온 배열은 냉방용의 증기흡수식 냉동기(20냉동톤×1대)에서 냉열(冷熱)로서 회수하여 전화국의 기저(基低)



<그림 4> 200kW연료전지의 열병합 발전시스템 구성도

〈표 8〉 연료전지 에너지효율 실적데이터

년 월	발전효율	열회수효율	종합효율
92 12	37.4	46.7	84.2
93 1	37.3	46.1	83.4
2	39.5	47.4	86.8
3	37.3	45.5	82.8
4	35.1	43.8	79.0
5	37.3	46.8	84.1
6	37.8	47.8	85.6
7	35.1	45.5	80.6
평균	37.2	46.2	83.4



〈그림 5〉 100kW 연료전지의 열병합 발전시스템 구성도

냉방부하에 이용하고 있다

6. 맺음말

화석연료의 연소로 배출되는 이산화탄소는 지구 온난화에 50% 이상 영향을 주는 온실가스로서 향후 지구환경 보호와 관련하여 국제규제 또는 스스로의 배출저감 노력이 불가피 할 것으로 여겨진다. 이에 따라 세계적으로 지구환경 개선을 위한

기후변화협약에 우리 나라도 지구환경 문제의 중요성을 깊이 인식하여 '93년 12월에 47번째로 가입하였으며, 지난 '94년 3월 21일로부터 공식 발효하였다.

기후변화협약의 일반 의무 사항으로서

- 1) 각국은 모든 온실가스 배출량 및 흡수량에 대한 국가 통계를 작성 제출
- 2) 기후변화 방지에 기여하는 국가 전략수립 시행을 공식 공포



기술해설

- 3) 에너지, 수송, 산업부문의 기술개발, 기후변화 관측체계의 확충, 산림 등 흡수원 보호, 생태계 보호, 국민의식 계도 등 광범위한 분야에서 국가적으로 공동협력
- 4) 온실가스 통제와 국가정책 이행에 관해 선진국은 공식발효 후 6개월, 개발도상국은 3년 이내에 보고하고

그 후는 주기적으로 보고하는 것으로 되어 있으며, 더욱이 지난해 12월에 세계 선진국들의 모임인 OECD(경제협력개발기구)에 우리나라가 29번째로 가입하므로써 기후변화협약 관련 국제적인 이산화탄소 배출규제는 우리나라와 같이 에너지 다소비형 국가에서는 에너지수급 및 산업 전반에 걸쳐 가장 큰 제약 요인으로 작용하게 되어 많은 어려움이 따르게 될 것이다.

그러나 기후변화협약을 새로운 장애요인이나 제약으로 간주하여 회피 내지는 수동적 자세로 받아 드리기보다는, 범 국가적 차원에서 산업구조 개선, 소비절약, 기술 개발, 효율 향상 등 다양한 에너지 수요관리 프로그램을 개발하여 적극적으로 추진할 수 있도록 체질개선의 기회로 승화시킬 필요가 있다.

기후변화협약의 발효에 따라 향후 세계각국의 에너지 정책은 지구환경문제에 적극적으로 대처하기 위한 에너지 소비절약과 환경오염이 없는 대체 에너지 기술개발에 더욱 심혈을 기울일 것이며, 이에 따라 다가오는 21세기에는 우리나라의 열병합 발전 분야도 산성비의 원인물질인 SO_x와 NO_x, 지구온난화 원인 물질인 CO₂등 지구환경 오염이 적은 연료전지(Fuel Cell)를 이용한 열병합 발전시스템이 환경친화적 설비로서 각광(脚光)을 받게 될 것으로 예상되고 있다.

참고문헌

- 1) 도유봉, 1994, "일본 열병합 발전 심포지엄 참가기", 기술사회지, 제27권, 제2호, pp. 90~95
- 2) 도유봉, 1994, "열병합 발전시스템과 에너지환경(Ⅱ)", 전기기사협회지 5월호, pp. 52~60
- 3) 도유봉, 1994, "열병합 발전시스템과 에너지환경(Ⅲ)", 전기기사협회지 6월호, pp. 49-55
- 4) 김운호, 1994, "연료전지시스템 예측제어 및 안정화 기술 연구(Ⅰ)", 상공자원부(중앙대학교), pp. 15~82
- 5) 이기성, 1995, "우리나라의 에너지기술개발", 에너지절약 편람, 제21-448호, pp. 217~284
- 6) 최동수, 1995, "연료전지 40kW급 발전시스템 종합기술개발", 한국가스공사 연구개발원(최종보고서), pp. 8~25, 120~135
- 7) 김중옥, 1996, "신·재생에너지의 개발현황", 한전 전력경제, 제5집, pp. 273~288
- 8) 上原謙一, 1991, "東京電力 11MW燃料電池試験の状況", 日本ゴ-ジェネレーション研究会 發表抄録集, 第7回, pp. 83~97
- 9) 櫻井正博, 1993, "リン酸形燃料の電池開發狀況", 日本ゴ-ジェネレーション 研究会 發表抄録集, 第9回, pp. 95~115
- 10) 井上保夫, 1996, "燃料電池發電 97年度MCFC1,000kW級で運轉研究", エネルギー Vol.29, No.9, pp 81~87
- 11) 星野伊右, 1995, "注目される燃料電池開發と導入促進策", エネルギー Vol.28, No.4, pp 43~71

(원고 접수일 1997. 4. 21)