

연료전지를 이용한 열병합발전시스템 고찰

에너지수요의 확대, 중장기적인 자원제약의 현재화 등에 따라 에너지의 안정공급확보 필요성이 점점 높아지고 있는 한편 에너지 소비의 증대에 의한 지구환경의 오염, 온난화 등이 세계적인 문제로 대두되고 있다. 이에따라 새로운 에너지절약 및 신에너지 기술 개발의 기운이 고조되어가고 있으며, 특히 연료전지는 고효율이고 배기가스가 깨끗한 환경적합성에 우수한 차세대 열병합발전시스템으로서 실용화가 기대되고 있다. 연료전지 및 연료전지를 이용한 열병합발전시스템에 대하여 자세히 알아보자.

1. 연료전지(Fuel cell) 개요

연료전지는 천연가스 등의 원료를 개질(改質)하여 얻어지는 수소와 공기중의 산소를 전기화학적으로 반응시켜서 직접발전하는 소위 화학발전이라고 부르고 있다. 종래의 발전기술, 예를들면 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.

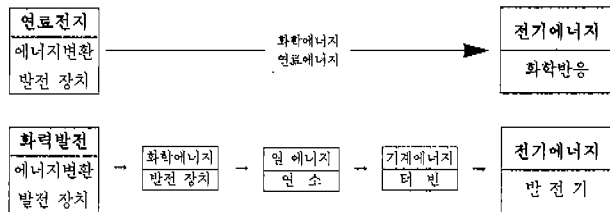
1.1 연료전지의 종류

연료전지는 사용하는 연료, 산화제, 전해질, 작동온도, 사용하는 전극의 종류 등에 따라 구분될 수 있으나 주로 전해질과 작동온도에 따라 분류한다. 일반적으로 표 1과 같이 전해질의 종류에 따라 알카리 연료전지, 인산형 연료전지, 용융탄산염 연료전



글/도 유 봉

(에너지관리공단 과장/기술사)



<그림 1> 전기에너지의 변환과정

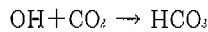
<표 1> 각종 연료전지의 비교

종 류 내 용	제 1 세 대		제 2 세 대 용융탄산염형	제 3 세 대 고체전해질형
	알 카 리 형	인 산 형		
전 해 질	KOH	H ₃ PO ₄	K ₂ CO ₃ /LiCO ₃	안정화 ZrO ₂
작 동 온 도	상온~100°C	150~300°C	600~700°C	800~1,100°C
연 료	순 수소	천연가스, 메탄올	천연가스, 석탄가스	석탄가스
산 화 제	순 산소	공 기	공 기	공 기
효 율 (%)	45~60	40~45	45~50	50~60

지, 고체전해질 연료전지 등으로 구분하며, 작동온도에 따라 저온 연료전지(100°C 이하), 중온연료전지(100~500°C), 고온연료전지(500°C 이상) 등으로 구분하기도 한다. 저온연료전지에는 알카리 수용액이나 산(Acid)용액을 쓸 수 있으며 그 외에도 이온교환막, 생화학 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 고체 전해질 연료전지가 있다.

(1) 알카리형 연료전지
(Alkaline Fuel Cell)

알카리형 연료전지는 낮은 온도에서 작동하며, 수산화칼륨(KOH) 수용액을 전해액으로 사용한다. 알카리 수용액은 산(Acid) 수용액에 비해 부식성이 작으며 높은 전도도를 가지고 있으나 공기중의 이산화탄소(CO₂)와 반응하여 전도도가 낮은 중탄산(Bicarbonate) 이온을 만드는 단점이 있다.



여기서 생성된 중탄산(HCO₃)은 고농도의 알카리용액 중에서는 녹지않으며 전극 기공을 막아서 손상을 주거나 효율을 떨어뜨린다. 따라서 순수 수소(H₂)를 연료로 사용하고 산화제로는 순수 산소(O₂)가 사용되므로 이로인하여 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 여러종류의 산(acid) 용액을 전해질로 사용할 수 있으나 인산(H₂SO₄)용액이 가장 많이 사용되고 있다.

인산형 연료전지는 알카리형 연료전지와는 다르게 이산화탄소(CO₂)의 영향을 받지않으므로 순수산소 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 되므

로 증기개질 이전에 산화아연(ZnO)층을 거쳐 제거하고 개질 후의 일산화탄소(CO)는 전극촉매에 손상을 주어 전극열화의 원인이 되므로, 수성가스 반응으로 수소(H₂) 및 이산화탄소(CO₂)로 변환하여 연료로 사용하게 된다. 인산형 연료전지는 여러종류의 연료전지 중에서 기술적으로 현재 가장 발전되어 있으며 상업용 전원공급기술로 유망시 되고 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 연구중이며 높은 온도에서의 작동으로 발생된 배열을 이용한 대용량의 복합발전방식으로 활용될 전망이다.

(4)고체전해질형 연료전지

(Solid Oxide Fuel Cell)

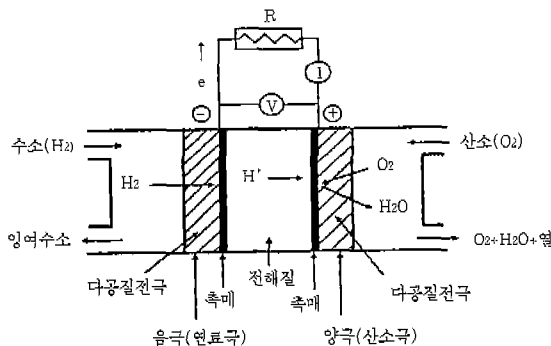
고체전해질 연료전지는 800~1,100°C에서 작동하는 것으로서 산화질로 산화지르코늄(ZrO₂) 격자속에 산화칼슘(CaO), 산화이트륨(Y₂O₃)등을 첨가하여 안정화 산화지르코늄(ZrO₂)을 만들어 전해질로 사용한다. Ca²⁺나 Y³⁺이온을 Zr⁴⁺이온과 대치하면 이온간의 차이에 의해 빈자리가 생기며 이를 통해서 이온이 전달되어 전류가 흐르게 된다. 이러한 고체전해질 연료전지는 전극, 전해액의 안정성 및 높은온도에 따르는 부식문제, 또한 전해질이 고체이므로 저항분극이 커서, 얇은 전해질 판을 만들어야 하는 등, 많은 문제점을 가지고 있으며 아직 초기 연구단계이다. 용융탄산염형 연료전지와 같이 양질의 높은 배열을 이용한 복합발전이 가능하며 석탄가스를 연료로 사용할 수 있다.

1.2 발전원리

연료전지의 발전원리는 전기분해의 역반응, 즉 수소와 산소가 결합하여 전기를 발생하는 구조를 이용하고 있다. <그림 2

>는 대표적인 예로서 인산형 연료 전지의 발전원리를 나타낸다. 연료전지는 양극(+), 전해질, 음극(-)의 3개부분으로 구성되어 있다. 양극의 활동물질은 산화제, 음극의 활동물질은 환원제, 전해질은 이온형으로 전하를 수송하는 물질이다. 양극, 음극은 다공성 전극으로 불리우고, 한편은 전해질(인산)에 접촉되고 다른면에는 반응가스(수소:음극, 산소:양극)가 접하게 된다. 발전반응은 전극(고상), 인산(액상), 수소 또는 산소(기상)의 3상이 접촉되는 계면(3상계면)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 이온 H⁺은 전해질을 통하여 양극에 도달한다. 전체 반응으로서는 $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$ 로 된다. 결국 연료전지의 발전반응은 물의 전기분해의 역반응으로 이 전자의 흐름을 전기로서 뽑아내는 것이 연료전지이다.



<그림 2> 인산형 연료전지의 발전원리

1.3 연료전지의 특성

연료전지는 필요에 따라 수십 kW의 소규모 발전으로부터 수십만kW의 대규모 발전이 가능하므로 수용가설치(On-site), 분산전원용 및 전원공급용 뿐만 아니라 기존 화력발전의 역할을 그대로 수행할 수 있다. 기존방식에 비해 효율이 높고, 열병합발전이 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 필요없는 직접변환 방식이므로 많은 손실을 피할수 있다 (열기관이 아니므로 카르노사이클에 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 효율향상기대는 약 43%정도. 그러나 연료전지방식의 발전효율은 약 40~60%). 또한 기존화력 발전은 정격출력에서 가장 효율적인 반면 연료전지는 정격출력의 25~100%의 넓은 범위에서 거의 일정한 효율을 갖는다.

(2) 배열의 이용(열병합발전)

발전과정에서 발생되는 높은 온도(인산형 연료전지 : 약 160~180°C)의 반응열을 회수하

여 상가나 주거지역의 냉난방, 온수공급 또는 산업공정열로 이용할 수 있다. 따라서 이때의 전체효율은 최대 80~90%까지 가능하여 에너지이용면에서 뚜렷한 장점을 갖는다

(3) 환경특성

연료전지는 연료로서 화석연료를 사용하는 이상 개질기에 의한 조작이 반드시 필요하다. 이 경우 탈황, 분진제거를 충분히 할 수 있어서 SOx와 분진의 방출이 극히 적으며, 개질기의 조작도 높은 온도에서 일어나지 않으므로 NOx의 방출도 적다. 또한 연료전지 본체에는 기계적 구동부분이 없고, 가스공급기 등에 약간의 소음·진동 등이 생기나 기존 발전시스템과는 비교도 안될만큼 적다.

(가) 질소산화물(NOx)

<표 2>에 각종 용도의 연료전지, 가스터빈, 디젤엔진 등의

발전장치의 질소산화물 배출량을 나타낸다. 인산형 연료전지에서의 NOx배출량은 디젤엔진에 비하여 2자리이상, 가스터빈에 비해서도 1자리 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 낮은산소의 공기를 연소시켰기 때문에 연소온도가 낮고, 본질적으로서 서멀(Thermal)NOx가 발생하기 어려운점, 그리고 사용하는 연료에 질소가 포함되지 않아 연료NOx가 발생하지 않는것에 의한다.

(나) 유황산화물(SOx)

발생하는 SOx량은 실질상 연료에 포함하는 유황분량에 의하여 정하여 진다. NOx와 같이 연소시키는 방법 등의 기술적방법에 의하여 감소시키는 것은 불

가능하다. 연료전지의 경우는 배출 SOx량이 극히 적으므로 통상적으로 검출한계 이하이다. 이것은 도시가스 등의 유황분이 적은 연료를 사용하고 있는 외에 배열을 이용해서 탈황을 하기 때문이다. 연료전지는 개질촉매가 유황에 의한 피해가 심하기 때문에 표준설비로서 탈황기(탈황률 약 99%)가 설치되어 있어 대기중으로 SOx가 배출되지 않는다.

(다) 탄산가스(CO2)

탄산가스는 전혀 무해하기 때문에 법적규제 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 좋게하던가 또는 열병합발전에 의하여 열공급을 포함한 에너지이용효율을 높이는 것 이외에 방법은 없다. <표 3>에 발전장치별로 CO2 발생량을 나타낸다.

(라) 건설공기

모든 구성품이 모듈형태로서 대량생산이 가능하고 수송이 용이하며 신속하게 조립설치가 가

<표 2> 각종 발전장치의 NOx 배출량

연료전지발전장치				제대발전플랜트	
용도	용량	연료	NOx PPM	발전플랜트	NOx PPM
전력용	1,000kW	LNG	11	디젤엔진	1,000이상
수용가용	50kW	도시가스	2	가스엔진	300~500
도서용	200kW	메탄올	2	가스터빈	70~100
차량용	25kW	메탄올	1	화력발전	80이하

<표 3> 발전장치별 CO2발생량

200kW 발전 플랜트		제대발전플랜트	
기종과 연료	CO2발생비율	기종과 연료	CO2발생비율
연료전지 (도시가스 13A)	100	연료전지 (도시가스 13A)	100
가스엔진 (도시가스 13A)	140	디젤엔진 (A중유)	140
디젤엔진 (A중유)	190	가스엔진 (도시가스 13A) 가스터빈 (A중유)	150 220

<표 4> 미국의 연료전지 개발현황

프로젝트명	내 용	비 고
TARGET GRI	○12.5kW 인산형 연료전지 64기 시험 ○40kW 인산형 연료전지 52기 시험 ○200kW 인산형 연료전지 개발	'67~'76 '77~'84 '90~현재
FCG-1	○1MW 인산형 연료전지 시험 ○4.5MW 인산형 연료전지 시험 ○11MW 인산형 연료전지 시험	'71~'85 '85~'88 '88~현재
기 타	○2kW급 용융탄산염 스택제작(MC-POWER사) ○100kW급 용융탄산염형 스택 운전시험(PG&G사) ○2MW 상용화 플랜트 건설을 위한 12kW급 스택시험중 ○20kW/25kW 고체전해질형 스택실험 완료 ○100kW급 고체전해질형 SCE사에서 시험중	'89 '91 '96 '92 '94

<표 5> 일본의 연료전지 개발현황

프로젝트명	내 용	비 고
Moonlight New Sunshine 계획	○1,000kW급 인산형 2기 시험완료 ○5MW급 인산형 실증설비설비 개발 ○1MW급 용융탄산염형 개발중	'81~'88 '91~'96 '93~'97
기 타	○용융탄산염형 개발(외부개질형 10kW, 20~25kW, 100kW) ○용융탄산염형 개발(외부개질형 250kW) ○용융탄산염형 개발(내부개질형 100kW) 계획 ○고체전해질형 132kW급 실증운전(미쓰비시 중공업) ○고체전해질형 10kW급 스택개발	'87~'93 '93~'96 '97 '92 '97

전방식에 비해 가동률이 높다. 또한 모듈단위의 증설도 가능하여 부하증가에 따라 탄력있게 대처할 수 있으며 적은 부지에도 설치할 수 있어 입지확보의 용이성을 갖고 있다.

(마) 연료의 다양성

특수용도에 사용되는 알카리전지는 순수한 수소를 사용해야하나, 인산형 연료전지는 탄화수소 계열인 천연가스(LNG), 도시가스(LPG), 메탄올, 메탄가스 등을 다양하게 사용할 수 있으며, 용융탄산염 및 고체전해질형 연료전지의 경우는 석탄가스화설비와 연결시켜 석탄가스를 직접 연료로 사용할 수도 있다.

능하여 건설공기의 단축이 가능
하다. 모듈단위로 보수, 점검 및
교환을 쉽게 할 수 있을 뿐만 아
니라 단위기 용량이 큰 기존 발

다음호에 계속 ...

음파 이용한 신개념냉장고 등장

프레온 가스가 아닌 음파를 이용한 냉장고. 미국 퍼듀대 록 몬주 기계공학교수팀은 최근 이같은 신개념 냉장시스템을 개발했다. 이름은『열-소리(thermoacoustic)냉장고』.

기본원리는 음파의 강약이 온도변화를 가져온다는 것. 강한 음파가 온도를 올린다는 이론이다. 핵심장치는 음파에서 열을 빼앗은 특수 세라믹을 내장한 금속튜브. 이 튜브에 음파를 통과시키면 세라믹이 열을 흡수, 『시원한』 음파만 남는다. 결국 『시원한』 음파는 튜브를 식혀주고 차가워진 튜브가 냉장고를 순환하는 물이나 다른 액체를 다시 차게 해 준다는 것이다.

이 시스템은 물론 10여년전부터 연구가 이뤄져왔다. 하지만 에너지소비가 너무 커 실용화는 당분간 어려울 것으로 예상됐었다. 그러나 이번 제품은 에너지소비가 적어 재래식 냉장고와 충분히 경쟁할만 하다고.