

연료전지를 이용한

열병합발전시스템 고찰 (하)

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. 전월호에 이어 국내의 기술 개발 동향 및 열병합발전시스템에 대하여 자세히 알아보자.

2 국내외 기술개발 동향

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

2.1 해외 기술개발 현황

(1) 미국
본격적인 실용화개발은 미국

에서 이루어졌는데, 먼저 우주선용 전원으로서 1961년 NASA에 의하여 연구가 개시되어 1965년의 "체미니"나 1966년의 "아폴로"에 1kW급 알카리형 연료전지가 설치 되었다. 한편 산업용으로서의 개발은 <표 1>과 같이 우주선용보다 약간 늦게 1967년에 발족한 TAGET계획(소용량 연료전지 개발)과 1971년에 발족한 FCG-1 계획(대용량 연료전지 개발)에 의한 미연방정부의 재정지원으로 인산형을 주체로한 프로젝트가 시작되었다. 전자의 계획은 가스회사군(群)을 중심으로 12.5kW의 발전시스템에서 40kW의 실증기(實證機) 개발을 거쳐 200kW급을 개발 하였고, 후자의 계획은 전력회사군(群)을 중심으로 4.500kW의 실증기(實證機)를 거쳐 11,000kW급을



글/도 유 봉

(에너지관리공단 과장/기술사)

<표 1> 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	○21kW급 용융탄산염 스택제작(MC-POWER사) ○100kW급 용융탄산염형 스택 운전시험(FG&G사) ○2MW 상용화 플랜트 건설을 위한 120kW급 스택시험중 ○20kW/25kW 고체전해질형 스택실험 완료 ○100kW급 고체전해질형 SCE사에서 시험중	'89 '91 '96 '92 '94

<표 2> 일본의 연료전지 개발현황

프로젝트명	내 용	비 고
Moonlight New Sunshine 계획	○1,000kW급 인산형 2기 시험완료 ○5MW급 인산형 실증실험설비 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

<표 3> 유럽의 연료전지 개발현황

구 분	인 산 형	용융탄산염형	고체전해질형
독 일	· 800kW급 시험 · 200kW급(미국)실증시험중	· 100kW급 개발중	· 수십kW급 개발계획중
이태리	· 1MW급 운전시험(미국) · 20~200kW급 운전시험중(미국,일본) · 1kW급 개발	· 1kW급 스택제작 시험중	· 기초연구 진행중
네델란드		· 10kW급 스택제작 시험중 · 50kW급 개발중	· 기초연구 진행중
기 타	· 스페인, 스웨덴 등에서 일본 FUJI 50kW 시험중 · 스웨덴, 덴마크, 핀란드, 스위스 등에서 200kW 시험중	· IEA가입국 등에서 기초연구 진행중	· IEA가입국 중심 기초연구 진행중

개발하였다.

(2) 일본

일본에서의 연료전지 개발이 본격적으로 시작된것은 <표 2>와 같이 1981년도에 통산성 공업 기술원의 MOONLIGHT 계획 중에서 연료전지 프로젝트가 착수된 때이다. 이중 전력용 연료전지 발전설비의 연구개발은 NEDO(신에너지·산업기술종합개발기

구)에서 '81년부터 '87년까지 7년간에 걸쳐 『1,000kW급 인산형 연료전지 발전시스템』에 대해서 석유대체·성에너지형 전원의 실용화를 목표로 프로젝트를 수행하여, 분산배치용(저온저압형)과 화력발전 대체용(고온고압형)의 2기종이 개발 되었다. 그리고 자가발전용에 대해서는 정부의 프로젝트 일환으로 칸사이(關西)전력, 오오사카(大阪)가

스, 미쓰비시(三菱)전기가 개발한 200kW, 대형 가스회사(도쿄(東京), 오오사카(大阪), 토호(東邦)가스)와 후지전기가 공동으로 개발한 50 /100kW급 및 미국의 ONSI (IFC와 도시바 합병기업)가 개발한 200kW 등과 같이 102대 ('95년3월기준 28MW 가동중)가 일본 각지에서 신뢰성시험(Field Test) 운전이 실시되고 있다.

(3) 유럽

유럽에서는 '70년대초에 개발이 시작되었으나 '75~'77년을 전후로 중단되었다가 '86년 CEC(Commission of European Communities), 이태리, 네델란드 등이 본격적으로 시작하였다. 그리고 <표 3>과 같이 미국, 일본보다 기술이 뒤진 인산형 분야는 시스템을 도입하여 기술을 확보하고 개발여지가 있는 용융탄산염형과 고체전해질형은 자체적으로 기술개발을 추진하고 있으며, 네델란드, 이태리, 독일 및 CEC 등이 요소기술 및 스택개발을 추진중에 있다.

2.2 국내 기술개발 현황

우리나라의 연료전지 기술개발은 '85년 에너지기술연구소가 한전과 공동으로 인산형 연료전지 스택을 일본에서 도입하여 시스템을 설계하고 주변기기 개발 등 운전특성을 연구하기 시작하였다. <표 4>와 같이 '87년 과기처 특정연구개발사업을 2kW급 연료전지 본체 및 시스템 개발을 목표로 에너지연구소 주관으로 추진하여 '89년에는 국책 개발로 추진하였다. '89년 통산 산업부 대체에너지 사업으로 40

<표 4> 우리나라 연료전지 개발현황

제1단계('87~'91)	제2단계('92~'96)	제3단계('97~2001)
· 인산형연료전지개발 -500W급 스택 개발 -주변장치 설계, 기반기술 · 용융탄산염 기반기술 -단위전지 제작기술 · 고체전해질 기반기술	· 인산형연료전지 실용화 -50kW급 시스템 개발 -200kW급 시스템 개발 · 용융탄산염연료전지기술 -2kW급 전지구성, 시험 · 고체전해질 연료전지 기술 -100kW급 스택구성, 시험	· 인산형연료전지 실용화 -200kW급 시스템 개발 -MW급 플랜트 운영기술 · 용융탄산염연료전지기술 -100kW급 외부개질 기술개발 -2kW급 내부개질 기술개발 · 고체전해질 연료전지 기술 -2kW급 스택개발
65억원	318억원	711억원

kW급 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 통상산업부가 이원적으로 수행하던 연료전지 개발사업을 통상산업부 G7프로젝트로 통합하여 추진중에 있으며, 2001년까지 다음과 같은 목표로 추진하고 있다.

3 열병합발전시스템 구성

1. 연료개질장치

연료전지를 이용한 열병합발전시스템은 기본적으로 <그림 1>과 같이 연료를 수소로 변환시키는 연료개질장치, 전기를 발생시키는 연료전지 본체, 연료전지와 개질기에서 발생된 열을 이용하기 위한 배열회수장치, 연료전지 본체에서 발전된 직류전력을 교류전력으로 변환시키는 전력변환장치, 열병합발전설비의 운전과 최적효율을 유지하기 위한 제어시스템을 갖추게 된다.

3.1 연료개질장치

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.

3.2 연료전지 본체

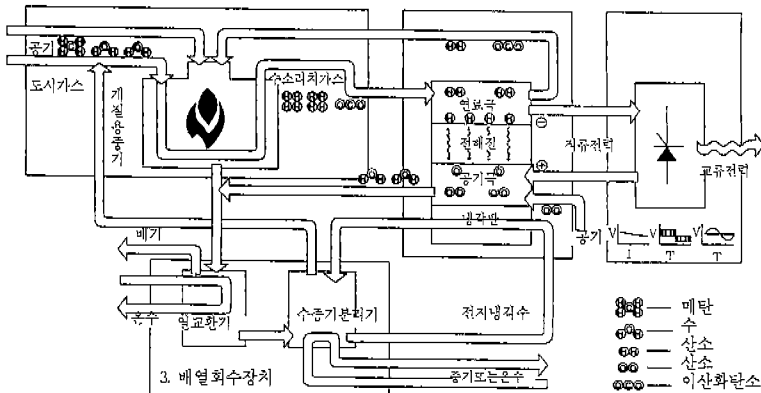
연료전지 본체는 일반 발전소에서와 같이 발전기에 해당하는 부분으로서, 연료개질기에서 공급된 수소가스와 공기중의 산소를 이용하여 앞에서 설명된 발전원리에 의해 직류발전을 하는 연료전지의 핵심구성 요소이다. 실제의 구성은 수십개의 단위전지를 직렬로 연결하여 전지스택(stack)을 구성하고 이를 여러개의 직렬로 연결하여 직접 전력을 얻도록 되어 있으며 전력량의 조절은 모듈을 추가 설치함으로써 해결할 수 있는 장점을 갖고 있다.

3.3 배열회수장치

연료전지 본체나 개질장치에서 발생된 배열을 회수하여 상가나 주거지역의 냉난방, 온수공급 또는 산업공정열로 이용한다. 인산형 연료전지에서의 열회수는 보통 고온배열과 저온배열 2가지로 구분되며, 고온배열은 170°C의 포

2. 연료전지본체

4. 전력변환장치



<그림 1> 열병합발전시스템 개념도

<표 5> 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
평	관	37.2	46.2	83.4

화증기로서 2중효용 흡수식 냉온수기에서 하절기에는 냉열로서 회수하고 동절기에는 난방부하에 이용된다. 저온배열은 70°C의 온수가 열교환기를 통하여 저장조에 저장시킨후 업중에 따라 주방용이나 급탕용으로 사용하게 된다.

3.4 전력변환장치

연료전지 본체에서 발전되는 직류전력을 기존의 상용 교류전력으로 사용하기 위한 전력변환장치(인버터)가 필요하다. 연료전지에 적용되는 인버터는 전력용 사이리스터(Thyristor)나 전력용 트랜지스터 등과 같은 전력용반도체 소자들의 도통(on) 및 비도통(off) 동작에 의해 직류전력을 교류전력으로 변환시켜 기존 교류부하를 이용할 수 있도록 한 장치이며, 수용가에 공급하기 위하여 적정전압, 적정주파

수 및 필요한 상(3상 또는 단상)의 교류전력으로 변환시킨다.

3.5 제어시스템

제어시스템은 자동운전을 목적으로 직접디지털제어(DDC: Direct Digital Control)방식을 채용하고 있다. 또한 신뢰도를 높이기 위하여 주요연산부, 전원부 등을 이중화 하는 경우도 있으며, 각각의 계통별로 운전상태치를 파악, 평가해석하기 위한 데이터 수집장치를 별도로 설치하기도 한다. 보통 연료전지에서 발생된 전기와 열은 기저부하(Base Load)로 사용하게 되므로, 플랜트의 출력제어는 먼저 출력지령치를 전력변환장치에 보내어 사이리스터의 위상제어에 의하여 출력증가를 행하게 된다. 출력증가에 의하여 연료전지 본체에서 소비되는 수소 및 산소의 양이 변화하기 때문에, 소비

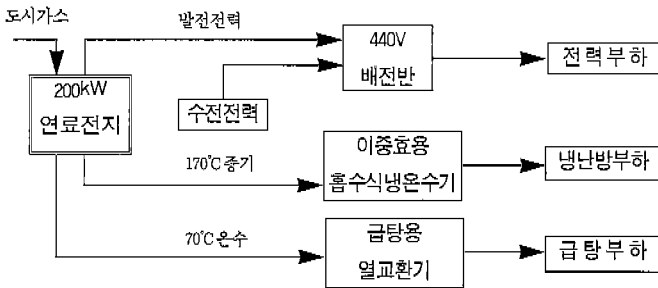
량(전류치)에 상당한 유량을 연료극입구 및 공기극입구 조정변(Control Valve)에서 제어한다. 그리고 연료극입구 조정변은 개질기 온도제어를 겸하고 있으며, 천연가스 유량제어는 개질기입구 계통의 압력을 일정하게 제어하는 것에 의하여 행하여진다.

4. 열병합발전시스템 운영사례

4.1 호텔적용사례

연료전지(200kW)를 이용한 열병합발전 시스템을 호텔에서 적용한 사례를 들어보면, <그림 2>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 약140실의 기저(基低) 난방부하에 이용된다. 저온배열은 70°C의 온수가 열교환기를 통하여 저장조에 저장시킨후 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 5>는 신뢰성시험(Field Test)을 통하여 연료전지의 운전실적을 나타내고 있으며, 회수에너지효율은 평균 83.4%이다.

4.2 전화국 적용사례



<그림 2> 200kW 연료전지의 열병합발전시스템 구성도

수전전력이 1,200kW이고 지상 6층, 지하1층(연면적 24,600㎡)인 전화국에서 적용한 사례를 들어 보면, <그림 3>과 같이 연료전지(100kW)에서 발생한 직류전력은 전화국의 특징을 그대로 살려 직류연계 컨버터(Converter)를 통하여 전화국의 직류전원 계통(DC 48V)에 연계시켜 전화교환 설비부하에 사용하게 된다. 그러므로 정전시에도 통화품질 유지와 신뢰도 및 고객서비스향상을 가져올 수 있으며, 일부는 교류연계 인버터(Inverter)를 통하여 전력계통(AC 210V)에 접속하여 소내부하로 계통연계 운전을 하고 있다. 그리고 연료전지에서 증기로 회수된 고온배열은 냉방용의 증기흡수식냉동기(20냉동톤×1대)에서 냉열(冷熱)로서 회수하여 전화국의 기저(基底) 냉방부하에 이용하고 있다.

6. 맺음말

화석연료의 연소로 배출되는 이산화탄소는 지구온난화에 50% 이상 영향을 주는 온실가스로서 향후 지구환경 보호와 관련하여 국제규제 또는 스스로의 배출저감 노력이 불가피 할 것으로 여

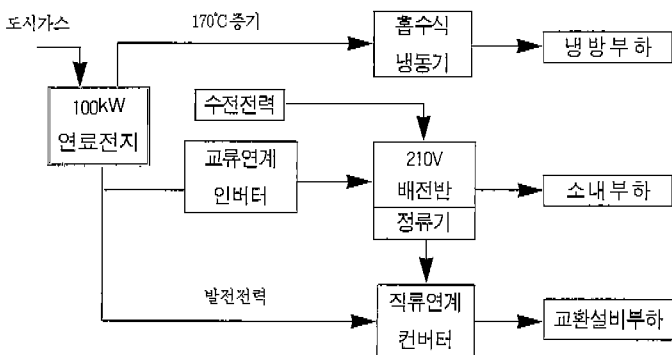
겨진다. 이에따라 세계적으로 지구환경 개선을 위한 기후변화협약에 우리나라도 지구환경 문제의 중요성을 깊이 인식하여 '93년12월에 47번째로 가입 하였으며, 지난 '94년3월21일로부터 공식 발효하게 되었다.

기후변화협약의 일반 의무사항으로서

- 1) 각국은 모든 온실가스 배출량 및 흡수량에 대한 국가 통계를 작성 제출
- 2) 기후변화 방지에 기여하는 국가 전략수립 시행을 공식 공포
- 3) 에너지, 수송, 산업부문의 기술개발, 기후변화 관측체계의 확충, 산림 등 흡수원 보호, 생태계 보호, 국민의식 제도 등 광범위한 분야에서 국가적으로 공동협력
- 4) 온실가스 통계와 국가정책 이행에 관해 선진국은 공식 발효후 6개월, 개발도상국은 3년 이내에 보고하고 그후는 주기적으로 보고 하는것으로 되어 있으며, 더욱이 1996년 12월에 세계 선진국들의 모임인 OECD(경제협력개발기구)에 우리나라가 29번째로 가입하므로서 기후변화협약 관련 국제적인 이산화탄소 배출규제는

우리나라와 같이 에너지 다소비형 국가에서는 에너지수급 및 산업전반에 걸쳐 가장 큰 제약요인으로 작용하게 되어 많은 어려움이 따르게 될 것이다. 그러나 기후변화협약을 새로운 장애요인이나 제약으로 간주하여 회피 내지는 수동적 자세로 받아들이기 보다는 범국가적 차원에서 산업구조개선, 소비절약, 기술개발, 효율향상 등 다양한 에너지수요관리 프로그램을 개발하여 적극적으로 추진할 수 있도록 체질개선의 기회로 승화시킬 필요가 있다.

기후변화협약의 발효에 따라 향후 세계각국의 에너지정책은 지구환경문제에 적극적으로 대처하기 위한 에너지 소비절약과 환경오염이 없는 대체에너지 기술개발에 더욱 심혈을 기울일 것이며, 이에따라 다가오는 21세기에는 우리나라의 열병합발전 분야도 산성비의 원인물질인 SOx와 NOx, 지구온난화 원인물질인 CO2등 지구환경 오염이 적은 연료전지(Fuel Cell)를 이용한 열병합발전시스템이 환경친화적 설비로서 각광을 받게 될 것으로 예상되고 있다.



<그림 3> 100kW연료전지의 열병합발전시스템 구성도

+ 국가기술자격제도
지상공청회 일부수정 **+**
지난 9월호 회지에 게재된 국가기술자격제도 지상공청회 내용중 "정부안"을 "제도개선개편안"으로 바로 잡습니다. 이는 회원들이 알아보기 쉽게 하기 위하여 편집상 정부안으로 하였으나 일부 회원들의 오해가 있게 되었습니다. 참고로 "제도개선개편안"은 정부에서 국가기술자격제도 개선에 따른 의견조치를 분야별 전문위원회 실시한 것입니다.