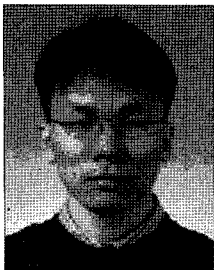


125kW 용융탄산염 연료전지 시스템 개발

The Development of 125kW Molten Carbonate Fuel Cell System



글 | 金範柱
(Kim, Beom Joo)

- 산업기계설비기술사
- 한국전력공사 전력연구원
- 녹색성장연구소 과장

E-mail : bjkim@kepri.re.kr

The KEPCO Research Institute has developed Molten Carbonate Fuel Cell(MCFC) since 1993. Recently, an 125-kW MCFC system was operated at Boryeong thermal power plant, Korea from December, 2009 to March, 2010. This system is composed of an 125-kW stack, mechanical balance of plant (MBOP), and Power Conditioning System. The stack has 200 unit cells of which effective area is 10,000 cm². Especially, MBOP is mainly made up of ejector and catalytic combustor which help this system to be supplied with cathode inlet gas using anode tail gas and fresh air. After the pretreatment of this system was performed for about 20 days, initial load operation was performed at January, 2010. Moreover, this system had been operated for 3,270 hours.

1. 서론

연료전지는 19세기 영국에서 William Grove가 처음 고안하였고, 한동안 연구가 되지 않다가 1960년대 우주개발 시대를 맞아서 미국의 NASA에서 개발을 시작하였다. 인공위성에 필요한 소형 탑재 전원으로로서, 유인 우주선의 전원으로 연구를 거듭하여 아폴로 우주선에 탑재되었고, 21세기에 들어서는 석유와 석탄을 대신하는 신재생에너지 전원으로 주목받고 있다.

연료전지는 물의 전기분해 역반응을 이용한 발전장치이다. 전해질 막의 양쪽에 접해있는 공기극과 연료극에 각각 산소와 수소를 공급하면

전기화학반응에 의해 전기와 물을 만들어낸다. 연료전지는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환하기 때문에 열역학적 제한을 받지 않으며, 효율은 40~55%로 높고 매연을 적게 배출하는 친환경적인 전원이다.

용융탄산염 연료전지는 이러한 연료전지 중에 발전용 연료전지로 가장 각광받고 있고 상업화에 성공하였다. 국내에서 외부개질형 용융탄산염 연료전지 발전 시스템의 개발은 1993년부터 시작하여 2004년 100kW급 발전시스템 개발 및 2009년 250kW급 시스템 개발 과제가 추진되어 왔다. 2008년에는 세계에서 가장 큰 단위 전지인 10,000cm² 크기의 분리판이 개발되어

75kW급 스택 및 운전시스템에 적용이 되어 있으며 2010년에는 125kW급 스택을 개발하여 운전 전을 하였다. 본 고에서는 용융탄산염 연료전지의 개발현황 및 125kW급 MCFC 시스템 개발에 대해서 기술하고자 한다.

2. 발전용 연료전지의 종류

연료전지의 종류를 <표1>에 정리하여 놓았다. 연료전지에는 수소이온교환막 연료전지(Proton Exchange Membrane Fuel Cell, 직접메탄올 연료전지(Direct Methanol Fuel Cell), 알칼리 연료전지(Alkaline Fuel Cell) 등 여러 가지가 있으나, 여기서는 분산형 전원으로 수백 kW급 이상의 전력으로써 발전소를 대체할 수 있는 것만 고려해 보도록 한다. 이러한 연료전지에는 용융탄산염 연료전지, 고체산화물 연료전지, 인산형 연료전지가 있다.

① 용융탄산염 연료전지 (Molten Carbonate Fuel Cell)

용융탄산염 연료전지는 600℃ 정도의 온도에서 작동하며, 전해질이 용융상태의 탄산리튬/탄산칼륨이다. 용융탄산염 연료전지는 연료극에 수소가 공급되고 공기극에 이산화탄소와 공기가 공급되며, 이온전도체는 탄산이온이다. 저가 격의 촉매를 사용이 가능하고, 메탄이나 석탄가스를 직접 이용할 수 있다.

② 고체산화물 연료전지 (Solid Oxide Fuel Cell)

고체산화물 연료전지는 600~1000℃의 작동 온도를 가지므로, 고가의 촉매없이 반응속도를

높일 수 있다. 지르코니아를 전해질로 사용하며 이온전도체는 산소이온이다. 고온에서 견디는 세라믹을 제조하여야 하므로 제조가 까다롭고 비용이 많이 들어간다. 수소와 일산화탄소를 연료로 사용할 수 있다.

③ 인산형연료전지 (Phosphoric Acid Fuel Cell)

인산형연료전지는 200~250℃의 작동온도를 가지고, 백금촉매를 사용한다. 전해질은 인산이며, 이온전도체는 수소이다. 최초로 상업적으로 만들어진 연료전지이다.

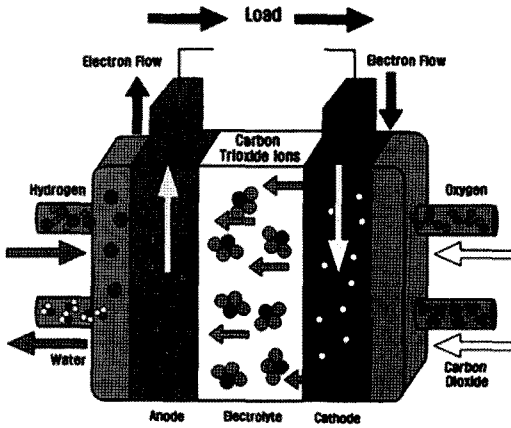
<표 1> 연료전지의 종류

구분	작동온도(℃)	전해질	발전효율(%)
PEMFC	50~100	Polymer Membrane	38~42
DMFC	50~200	Polymer Membrane	~40
PAFC	160~220	Phosphoric Acid	38~42
MCFC	600~750	Molten Carbonate	50~60
SOFC	650~1000	Solid Oxide	50~60

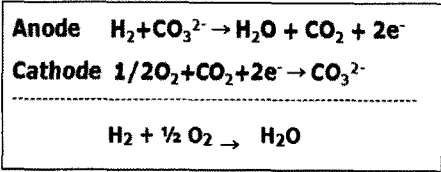
3. MCFC 발전시스템 개요

<그림 1>에서 보는 바와 같이 MCFC는 연료극(anode)에 수소가 들어가서 탄산염이온과 결합하여 물과 이산화탄소와 전자가 나온다. 그리고 공기극에 이산화탄소와 공기가 들어가서 탄산염이온이 생성되어 전해질을 따라 연료극으로 이동한다. 이렇게 생성된 전자의 흐름에 의해 전력이 생성되는 것이다. 공기극과 연료극에서

일어나는 두 반응을 합하면, 수소와 산소가 만나서 물과 전기를 만드는 반응이다.



〈그림 1〉 용융탄산염 연료전지의 원리



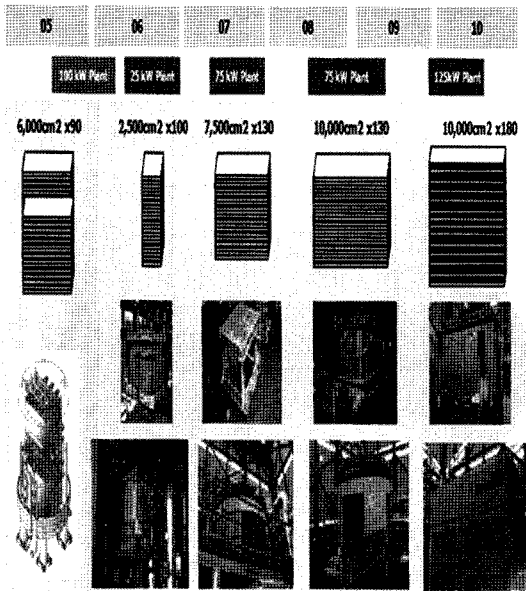
이러한 용융탄산염 연료전지 기술을 개발하기 위해서는 표2에 나열된 기술들이 필요하다. 우선 Cell은 연료전지의 단위 전지를 의미한다. Cell의 구성요소인 전극, 전해질, 매트릭스의 제조공정 및 재료 최적화 기술을 포함한다. 스택은 이러한 Cell들을 발전용량에 맞게 여러장을 적층하는 것인데, 분리판의 해석/설계 및 제조공정 기술과 스택의 구조 및 설계기술, 스택의 유동 및 열분포 해석 기술들을 포함한다. 마지막으로 이러한 셀과 스택이 좋은 성능을 발휘하기 위해서는 전체 시스템의 통합이 최적으로 이루어져야 한다. 시스템은 스택에 열과 가스를 원활히 공급하는 기능으로 개질

기, 촉매연소기, 이젝터, PCS 등의 기기들을 최적화하는 기술이다.

구분	요소기술	세부기술내용
Cell	구성요소소재 및 제조공정	<ul style="list-style-type: none"> Electrode: Ni-Al(A), NiO/C Electrolyte, Matrix 분말 제조기술 Tape casting, Sintering 기술 미세구조 제어기술
Stack	분리판 해석/설계 및 제조공정	<ul style="list-style-type: none"> 열유동 해석 및 분리판 설계 성형 및 가공 기술 코팅 및 열처리 기술 용접 기술
	스택 해석/설계 제작	<ul style="list-style-type: none"> 스택 반응해석 모델 스택 구조 최적화
System	시스템 설계 및 제작 평가	<ul style="list-style-type: none"> 5-100 KW 스택 평가 시스템 시스템 개념, 상세 설계 기술 시스템 운전 모드 개발
	시스템 BOP 개발	<ul style="list-style-type: none"> MBOP 설계 및 제작 개질기 설계 및 제작 평가 EBOP 설계 및 제작

〈표 2〉 용융탄산염 연료전지 세부기술

〈그림 2〉에는 한국전력공사 전력연구원에서 개발된 MCFC의 단위전지 크기와 시스템을 연도별로 나타내어보았다. '06년에 25kW 시스템을 대전의 전력연구원에서 운전하였고, '07~09년에는 75kW 시스템을 보령화력발전소 연료전지 시험동에서 2번 운전을 하였으며, 최근에는 단위전지 면적이 10,000cm²인 125kW 시스템을 보령에서 시험운전 하였다.



〈그림 2〉 한국전력공사 전력연구원의 MCFC 개발과정

4. 국내·외 기술개발 현황

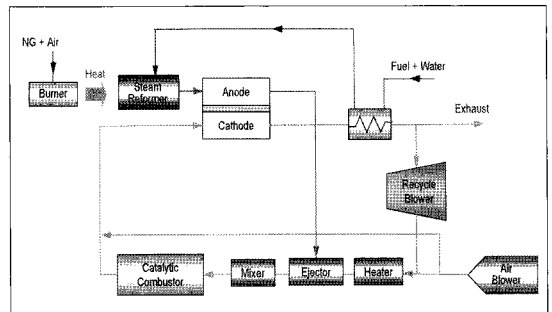
한국전력공사 전력연구원(KEPCO Research Institute)에서는 1993년부터 선도기술개발사업으로 시작하여 2004년 100kW급 발전시스템 개발이 정부 대체에너지 중점사업으로 진행되었고, 외부개질형 스택 및 시스템을 독자적으로 개발해왔다. 현재 125kW급 시스템을 개발하였다. 포스코파워는 2000년대 중반부터 사업화와 연구개발을 병행하고 있다. 미국의 FCE사와 기술제휴하여 국내에 연료전지를 보급하고 있다. 두산중공업도 2000년대 중반부터 연구개발을 시작하였다. 내부개질형 스택 및 시스템을 개발 중이다.

국외의 대표주자는 미국의 FCE(Fuel Cell Energy)사이다. FCE에서는 300kW~3MW급의 용융탄산염 연료전지를 분산전원으로 상업

화시켰으며, 우리나라에 여러 대가 보급되어 운전되고 있다. 포스코파워는 FCE와 협력하여 주변기기 공장을 국내에 설치하여 국내 시장에 설비를 공급하고 있다. 독일 MTU에서는 FCE의 스택을 도입하여 Hot Module라는 형태의 시스템으로 300kW급 연료전지를 생산하였다. 일본의 IHI에서는 외부개질형 MW급 시스템을 개발하였으며, 이탈리아에서는 안살도에서 500kW급 시스템을 개발 중에 있다.

5. 125kW급 MCFC 시스템 제작 및 운전

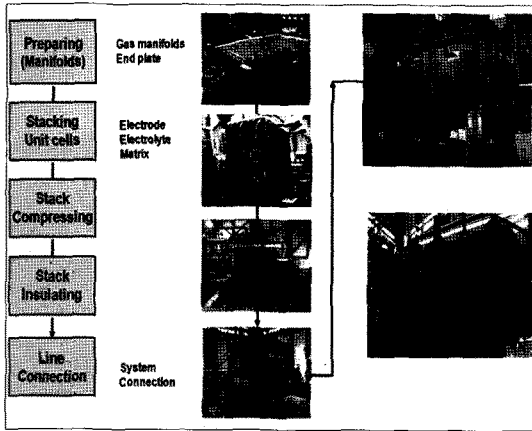
125kW MCFC 시스템을 살펴보면 그림3와 같다. 연료극에 물과 수소가 스택으로 들어가서 화학반응으로 전력을 생산한 후 연료극에서 나온 폐가스는 블로워에서 나오는 공기에 의해 이젝터에서 혼합되고, 촉매연소기에서 연소과정을 거친후 공기극으로 들어가서 화학반응을 하게 된다.



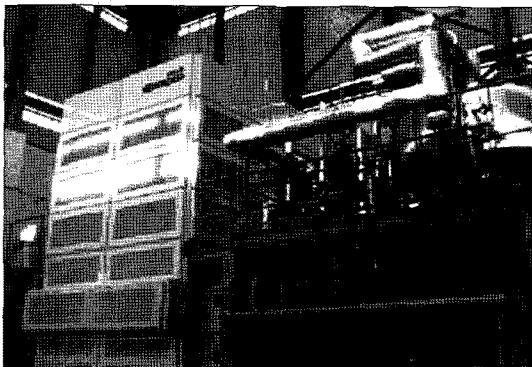
〈그림 3〉 125kW MCFC 시스템의 개념도

125kW급 MCFC 시스템 사양을 살펴보면, 구성요소에서 구성요소에서 Anode 전극은 Ni-Al alloy, Cathode는 Lithiated - NiO, 매트릭스는 α -LiAlO₂, 전해질은 Li/K Carbonate

68/32비율로 섞인 전해질로 제조하였다. 그리고 STS310재질의 10,000cm² 반응면적의 분리판이 사용되었다. 스택에서는 내부 매니폴드형 스택이 사용되었고, 단위전지 200개가 적층되었다. 125kW 스택은 내부 매니폴드, Co-flow구조이며, 촉매연소기와 이젝터로 소형화를 꾀하였다. 그림4는 MCFC 스택을 적층하는 과정을 보여주고 있다. 하부 매니폴드를 설치한 후, 단위 전지를 200장 설치하고, 스택 전체에 면압을 가한 후 배관을 연결하는 과정을 거치고 마지막에 스택에 베셀을 씌우게 된다. 그림5는 이렇게 설치된 125kW MCFC 시스템의 최종 외형이다.



〈그림4〉 125kW MCFC 시스템의 설치과정



〈그림 5〉 125kW MCFC의 시스템

6. 결론

정부의 신재생에너지 중점 과제로 2004년부터 시작된 용융탄산염 개발 과제를 통해서 10,000cm² 반응면적을 갖는 분리판과 125kW 연료전지 시스템을 개발하였다. 기술개발 현황을 보면 이전에 수행해 온 MCFC 발전 시스템 개발 연구를 기반으로 하여 125kW 스택은 내부 매니폴드, Co-flow구조이며, 구성요소에서 Anode 전극은 Ni-Al alloy, Cathode는 Lithiated - NiO, 매트릭스는 α -LiAlO₂, 전해질은 Li/K Carbonate 68/32비율로 섞인 전해질로 제조하였다. 그리고, 시스템 측면에서 볼 때, 촉매연소기와 이젝터로 소형화를 꾀하였다. 125kW 시스템은 700여 시간동안 전처리 과정 후 부하운전을 시작하여서 총 3,600시간동안 운전을 하였다. 스택의 최고 출력은 120kW이었다. 향후에는 이번 과제를 통해 구성요소에 대한 인프라 구축과 스택 및 분리판 제작기술에서 개선된 사항을 바탕으로 250kW급 시스템 개발, 이산화탄소 회수기술, 부생수소의 활용과 연관된 기술 개발을 통해 지속적으로 연료전지 응용 영역을 넓힐 필요가 있다.

〈원고접수일 2010년 9월 2일〉