

25 kW 외부개질형 용융탄산염 연료전지 발전시스템 개발

임희천, 고준호, 이충곤, 유영성, 안교상, 강병삼, 서혜경, *홍성안, **최영태
전력연구원, 발전연구실

*한국과학기술 연구원, **삼성중공업

Development of a 25 kW Externally Reforming MCFC Sys

H-C Lim, J-H Koh, C-G Lee, Y-S Youi, K-S Ahn B-S Kang, H-K Seo

*S-A Hong and **Y-T Choi

KEPRI, Power Generation Lab., *KIST, **Samsung Heavy Industry

1. 서론

1993년부터 시작한 선도기술개발 사업의 1단계 사업은 용융탄산염형 연료전지(Molten Carbonate Fuel Cell ; MCFC) 기초 기술기반을 확립하기 위하여 단위전지 요소기술 제작, 소규모 스택의 운전 및 운용 등을 중심으로 연구개발이 진행되어 1996년에는 2 kW 급 MCFC 시스템을 개발 3,250 시간 장기 운전평가를 실시 하므로써 소기의 목적을 달성하였다. 이 결과를 바탕으로 2002년 까지 2단계 MCFC 개발사업으로 100 kW급 규모의 스택개발 및 실증시험을 통하여 상용화에 필요한 기반기술을 확립하기 위한 연구개발사업을 추진하고 있다. 이를 위해 1997년부터 중간과정으로 25 kW 급 MCFC 시스템을 추진하고 있으며 98년에는 5 kW급 MCFC 스택 및 운전 시험설비를 개발하여 5,860 시간의 운전 시험을 완료하였다. 또한 개발되고 있는 25 kW 스택을 운전하기 위한 발전 시스템의 설계를 완료하고 현재 그 주변기기 제작 및 설비 설치공사가 진행되고 있으며 99년 말 운전시험을 실시할 예정으로 있다. 본고에서는 지금 까지 진행되고 있는 25 kW 외부개질형 MCFC 시스템 개발 내용 중 5 kW MCFC 스택의 장기운전 시험 결과와 25 kW급 mCFC 시스템 개요에 대하여 개략적으로 서술하고자 한다.

2. 5 kW MCFC 스택 장기 운전시험

가. 스택의 구성

25 kW MCFC 스택개발을 위하여 중간규모인 5 kW급 스택을 개발하여 장기 운전시험을 실시하였다. 5 kW MCFC 스택은 cathode, anode, matrix, 전해질, 분리판 등으로 구성된 단위전지(유효 전극면적 3,000 cm²)를 20장 적층하여 구성한다. 표 1은 사용된 MCFC 스택의 단위전지 구성요소 특성을 보여주고 있다. 5 kW 스택에서는 내부 메니폴드형 분리판을 사용하였고 분리판의 면적이 5,000cm² (600 x 820) 직사각형 형태로 제작하였다.

Table 1) Specification of 5 kW MCFC stack components

	Matrix	Electrolyte	Anode	Cathode	Separator
Material	LiAlO ₂	Li ₂ CO ₃ /K ₂ CO ₃	Ni+10%Cr	NiO	SUS 316L
Fabrication method (cm x cm)	Tape casting 60 x 82	Tape casting 55 x 120	Tape casting 41 x 76	Tape casting 40x 75	-
Thickness (mm)	0.45	0.3~0.4	0.75	0.65	5(8)
Porosity(%)/ Pore Size (μm)	55/0.25	-	63/4.5	80/9.2	-

스택 내 가스흐름은 연료가스와 공기 흐름이 병행류 형태로 흘러가도록 설계되었고 가스의 흐름이 원활하고 유로 전체의 압력강하가 적게되도록 설계하였다. 스택 내에서 가스공급 및 배출의 위치도 스택 하단 부 end plate에서 분배구를 따라 분배되어 상판 쪽으로 공급되어 다시 하판 end plate에서 모여져 배출하는 역 U 형으로 설계되어 있다. 스택은 전극면적 3,000 cm²의 단위전지를 20단을 적층하였고 적층은 기본적으로 단위전지를 순차적으로 수직방향으로 적층하여 용량을 증가시키는 방법을 사용하였다. 전기의 인출을 위하여 end plate에 집전용 단자를 설치하였고 분피판은 스텐레스강을 모재로하여 연료 가스쪽에 전기 도금법에 의한 Ni coating을 그리고 wet seal 부에는 Al coating을 하여 운전중 고온 부식에 대비하였다. 적층이 완료된 스택은 5 kW급 스택 운전실험 장치에 옮겨져 전처리 과정을 거친 후 성능 실험을 수행하였다.

나. 시험결과

스택은 1998년 1월 21일 전력연구원에 있는 5 kW급 MCFC 실험장치에 장착하여 운전시험을 시작하여 1998년 2월 10일에 최초 출력시험을 시작하여 2월 11일에는 정격 출력운전 시험에 성공하였고, 각종 특성시험을 실시한 후 1998년 9월 31일 총 5,760 시간의 운전시간과 4,860 시간의 부하운전 시간을 기록하고 운전을 종료하였다. 스택은 초기 성능 시험시 7.02 kW 출력을 그리고 600시간 경과 시에는 7.6 kW 최대 출력을 발전하므로써 본 스택이 목표로 한 충분한 성능을 보여주었다(그림 1, 그림 2). 운전 기간중 총 발전 전력량은 총 23,202 kWh이며 평균전력은 4.79 kW를 보여주었고 3,000 시간까지 평균전력은 5.6 kW로 설계치 보다 높은 출력을 기록하였다. 5 kW급 MCFC 스택의 성능 특성 확인을 위한 기본 특성 실험과 아울러 스택의 신뢰성을 검증하기 위하여 연속 운전 실험을 수행하였다. 스택은 초기 성능측정 시험을 완료한 후 운전상태의 안정화를 위하여 2/3 부하로 연속 부하운전을 실시하였다. 스택 신뢰성 확인을 위한 연속운전 시험은 300 A의 2/3 부하 상태 및 500 시간 간격으로 450 A로 정 부하 상태에서 연료이용율 40%, 공기 이용율 30%인 조건에서의 스택 전압변화의 추이를 살펴보았다 (그림3). 실용성 있는 스택의 성능 열화 목표치는 1,000 시간당 약 0.25% 정도의 성능 저하가 이루어져야 하나 현재 가장 앞서 있는 경시 변화율은 1,000 시간당 약 0.5% 정도이다. 국내에서 목표치로 이의 두배가 되는 1% 정도를 목표로 하고 있는데, 이번 스택에서는 운전 목표로 한 2,000시간까지는 성능 저하가 나타나지 않아 개발 스택의 높은 신뢰성을 확인시켜 주었다. 표 2는 150 mA/cm² 부하를 기준으로 하여 부하운전 시간으로 3,140 시간(운전시간으로 4,100 시간)까지의 경시변화 특성을 보여주고 있다. 초기성능을 기준으로 할 때 목표로한 2,000 시간까지는 1,000 시간당 25 mV 정도가 상승하였고 3,000 시간까지는 단지 0.15% 하락하는 현상을 보여주었다.

Table 2.. Voltage Characteristics of 5 kW급 MCFC stack by elapsed time
(at 450 A Load)

Run time(Hr)	40	600	1,000	1,500	2,080	2,517	3,124	ΔV
OCV	21.81	21.93	21.78	21.77	21.64	21.59	21.39	0.42
at 450A	15.92	17.05	16.84	16.64	16.24	16.04	15.66	0.26
ΔV at 450A	5.89	4.88	4.94	5.13	5.4	5.55	6.24	(0.35)

3. 25 kW급 MCFC 시스템 설계 및 제작

1999 년까지 개발예정인 25 kW급 외부 개질형 MCFC 스택의 성능 및 장기운전에 대비하기 위하여 시스템을 설계하고 그 시스템 내에 구성요소들에 대한 제작에 착수하였다. 25 kW MCFC 발전 시스템은 천연가스를 개질하는 개질기, 반응가스를 예열하는 연료 예열기, 고온 배가스를 이용하여 반응가스를 예열하는 Syn Gas 예열기, 배가스 냉각

기등과 같은 열교환기등과 산화제 공급용 콤프레서, 리싸이클 위한 공기 Blower, 연료극 배가스를 연소시켜 공기극으로 공급하는 촉매 연소기 및 스택 제네레이터등과 같은 기계설비 등으로 구성되어 있다. 이외에도 이들 기계설비들을 이들을 상호 연결시키고 운전을 제어할 수 있는 제어 및 계측 설비 그리고 가스 및 전기, 시수등과 같은 유틸리티 공급 설비등도 설치될 예정이다. 플랜트 일반적인 개념도를 그림 4에서 보여주고 있다. 본 설비는 1998년 10월 9일 건설에 착수하였으며 기계설비 및 제어설비가 완성되는 6월 중순경부터 본격적인 시운전 및 PAC : Process and Control) 시험에 착수할 예정이다. 본 시스템은 전력연구원 현재 건설중인 제 2 시험동 내에 위치하고 있으며 PAC Test 후 스택이 완성되면 본격적인 운전시험에 착수할 예정이다. 한편 스택은 기본 설계가 완료된 상태로 단위전지 구성요소들에 대한 제작이 진행되고 있으며 스택 압력용기 역시 설계가 완료된 상태로 내년 8월 말 까지 제작 9월초에 장착할 예정이며 이를 위해 기기별 운전시험이 내년 5월 PAC 시험이 6월부터 9월 말 까지 이루어질 예정이며 전기 및 제어기기의 설치 시운전이 이와 병행할 예정이다.

4. 결론

25 kW급 MCFC 시스템 개발을 위하여 중간단계로 3,000cm² 급 단위전지를 20매 사용한 5 kW급 MCFC 스택에 대한 운전평가 시험을 완료하였다. 스택은 1998년 1월 21일 전력연구원에 있는 5 kW급 MCFC 실험장치에 장착, 운전시험을 시작하여 9월 31일 까지 총 5,760 시간의 운전시간과 4,860 시간의 부하운전 시간을 기록하고 운전을 종료 하였다. 5 kW stack은 공급가스 유량이 전류밀도 150 mA/cm², 연료 이용율이 40%가 되는 조건으로 고정 하였을때 개회로 전압 21.81 V였고 150 mA/cm² 정 부하 운전시의 전압은 17.05 V로서 7.602 kW의 출력을 보여주어 었다. 운전기간 중 총 발전된 전력량은 총 23,202 kWh이며 평균전력은 4.79 kW를 보여주었고 3,000 시간까지 평균전력은 5.6 kW로 설계치 보다 높은 출력을 기록하였다. 스택내 단위전지 전압 표준편차는 정 부하시 약 3.0 mV를 보여 주었고 장기 연속운전시험에서는 약 2,000 시간 경과시 까지도 초기 성능과 같은 안정적인 성능을 보여주었다. 25 kW급 용융탄산염형 연료전지(MCFC) 발전시스템을 제작 설치하기 위하여 종합적인 시스템을 설계하고 그 시스템 내에 있는 그 구성요소들에 대한 제작 및 설치공사에 착수하여 99년 9월말까지 설비를 준공하고 25 kW MCFC 스택에 대한 운전 평가를 실시할 예정이다.

5. 참고문헌

- (1) 임희천 외, 1999, 100 kW급 외부개질형 용융탄산염 연료전지 시스템 개발 (1단계 25 kW급), 전력연구원 보고서 TM.97TJ38.M1999.20.
- (2) Blomen, L. J. M. J. and Mugerwa, M. N. (ed.), 1993, Fuel Cell Systems, Plenum Press.
- (3) 임희천, 이충곤, 강병삼, 안교상, 서혜경 : "용융탄산염형 연료전지스택의 장기운전 성능저하요인 분석" 수소에너지학회 99년 춘계학회 초록집 (1999) pp. 117-123
- (4) 임희천, 안교상, 강병삼, 이충곤, 홍성안 : "7 kW 용융탄산염형 연료전지스택 운전특성 화학공학의 이론과 응용 Vol. 4, No. 1 (1998)
- (5) Y.Fujita, H.Urushibata, A.Sasaki,; Analysis of the factors of the performance Decay Rate of MCFC" T. IEE Japan, Vol.118-B, No.6, 1998, pp 651-658

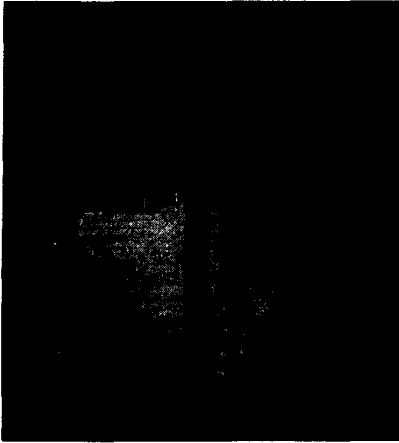


그림1. 5 kW MCFC 스택의 운전모습

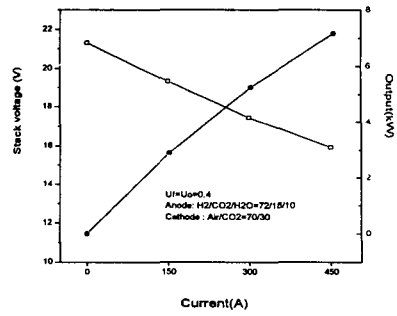


그림2. 5 kW MCFC 스택 전류전압특성

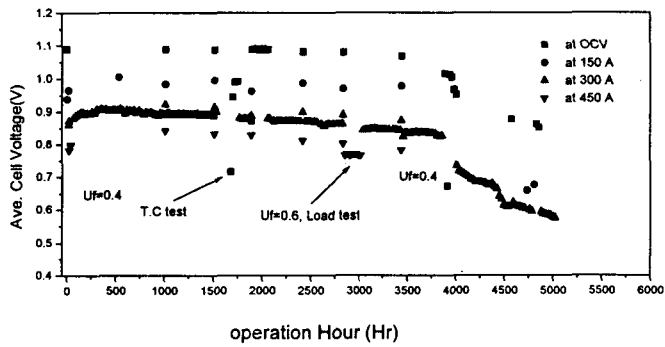


그림3 운전시간 경과에 따른 5 kW MCFC 스택의 전압 강하

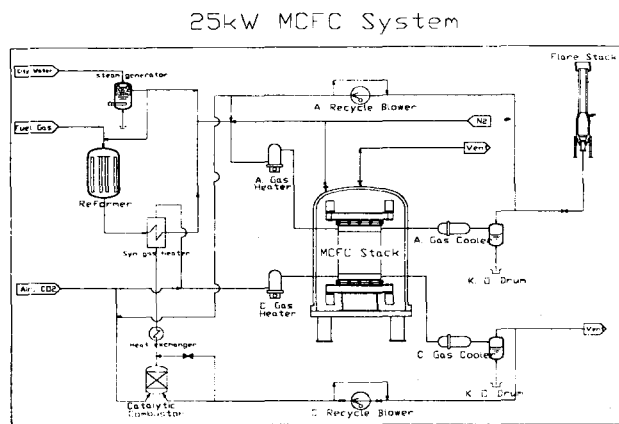


그림 4 25 kW급 MCFC 발전 시스템의 개념 설계도

연락처 : 한전 전력연구원
대전시 유성구 문지동 103-16
전화 042-860-5390, Fax :042-860-5304
전자메일 : fclim@kepri.re.kr