

125kW 외부개질 용융탄산염 연료전지(ER MCFC) 스택 운전

이정현*, 김범주*, 김도형*, 강승원*, 김의환*, 임희천*[†]

*KEPCO 전력연구원 녹색성장연구소

The Results of the 125 kW External Reforming Type MCFC Stack Operation

JUNGHYUN LEE*, BEOMJOO KIM*, DOHYEONG KIM*, SEUNGWON KANG*,
EUIHWAN KIM*, HEECHUN LIM*[†]

*Green Growth Laboratory, KEPCO Research Institute, 65 Munji-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea

ABSTRACT

The 125kW external reforming (ER) type molten carbonate fuel cell (MCFC) system for developing a commercial prototype has been operated at Boryeong thermal power plant site since the end of 2009. The system consists of 125kW stack with 10,000 cm² effective area, mechanical balance of plant (MBOP) with anode recycle system, and electrical balance of plant (EBOP). The 125kW MCFC stack installed in December, 2009 has been operated from January, 2010 after 20 days pre-treatment. The stack open circuit voltage (OCV) was 214V at initial load operation, which approaches the thermodynamically theoretical voltage. The stack voltage remained stable range from 160V to 180V at the maximum generating power of 120 kW DC. The stack has been operated for 3,270 hours and operated at rated power for 1,200 hours.

KEY WORDS : Molten carbonate fuel cell(용융탄산염 연료전지), OCV(개회로전압), Stack(스택), Current density(전류밀도)

1. 서 론

용융탄산염 연료전지 기술개발은 1993년 국가 G7 신에너지 개발 사업으로 “2kW급 MCFC 시스템 개발” 연구를 시작으로 기초 기반기술 개발에 성공하였고, 2005년 “100kW급 MCFC 발전시스템 개발” 사업으로 50kW급 MCFC 스택을 제작·운전시험을 완료하였다. 이로부터 확립된 상용 기초 기반기술

을 바탕으로 현재 250kW급 MCFC 발전 시스템 개발을 진행하여, 250kW급 발전시스템 설계가 완료되었다. 250kW 시스템은 125kW급 MCFC 스택 2기로 구성되는데 이를 실증하기 위한 125kW급 MCFC 시스템을 제작·운전하였다¹⁾. 본 시스템은 1m³ 크기의 반응 면적을 갖는 전극을 사용한 단위전지들로 구성된 125kW internal manifold & co-flow type 형태 스택과 이를 운전하기 위한 기계적 주변기기(MBOP)와 전기적 주변기기(EBOP)로 구성된다. 125kW 급 시스템 설치 및 시운전을 마치고²⁾, 125kW 스택

[†]Corresponding author : fclim@kepri.re.kr

[접수일 : 2010.9.2 수정일 : 2010.10.5 게재확정일 : 2010.10.20]

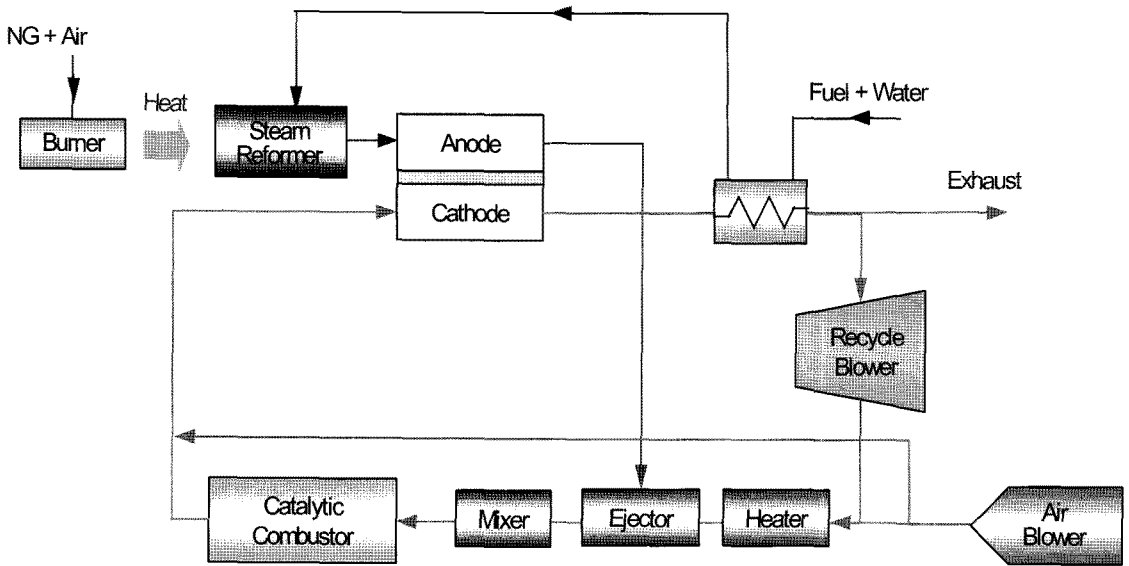


Fig. 1 Systematic diagram of 125kW ER type MCFC.

을 제작하여 운전시험을 진행하였다. 이번 운전은 시스템의 신뢰성 확보 및 제작 스택의 운전성능을 확인하여 상용화를 위한 시작품 운전을 그 목적으로 하고 있다.

본고에서는 보령화력 발전소 연료전지 시험장에서 2009년 12월에 설치되어 운전 시험을 진행한 125kW급 MCFC 시스템 운전결과를 정리하였다.

2. 125kW MCFC 시스템 운전

2.1 MCFC 시스템 구성

MCFC 발전에 필요한 연료인 수소, 이산화탄소, 그리고 스팀은 외부 개질기를 통하여 공급받는다. 스택에서 전기를 생산하고 남아있는 gas와 연료극 배기가스(anode-off gas)는 촉매연소에서 연소되어 공기극(cathode)에 필요한 이산화탄소를 공급하고 공급가스에 열량을 공급하게 된다. 공기극에 공급된 가스 역시 전기 생산에 소모되고 남은 공기극 배기가스(cathode-off gas) 일부는 고온 순환 블로어(blower)를 통하여 다시 공기극으로 공급되며, 나머지는 대기로 배출된다. 이러한 개질기, 촉매연소기 등의 순환공정을 통하여 MCFC 스택 내 온도

를 유지한다. Fig. 1은 이러한 순환 공정을 보여주고 있다.

스택 운전에 필요한 연료극과 공기극의 압력 균형을 맞추기 위하여 공기 블로어와 이덕터(eductor) 등으로 구성된 연료극 재순환 시스템(anode recycle system)을 설치하였다. 이 시스템은 공기 블로어의 유량에 대한 유속 변화에 의해 연료극 배기가스(anode-off gas)를 흡입하고, 공기와 혼합된 연료극 배기가스가 촉매연소 반응을 거친 후 공기극으로

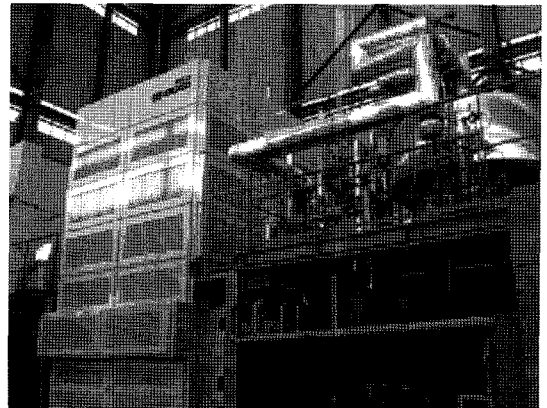


Fig. 2 125kW MCFC system.

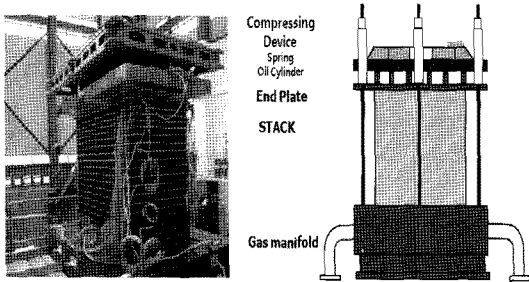


Fig. 3 The exterior of 75kW MCFC stack.

호르게 설계하였다(Fig. 1, Fig. 2).

2.2 MCFC 스택 제작 설치

Fig. 3는 125kW급 MCFC 스택의 외관과 치수를 보여주고 있다. 125kW MCFC 스택을 구성하는 단위전지는 10,000cm²의 전극 반응면적을 가지고 있고 이 단위전지들을 적층하여 스택을 완성하게 된다.

MCFC 스택은 스택 내 반응가스를 공급하기 위하여 입, 출구 매니폴드를 가지고 있으며 스택 내 유동은 입구 매니폴드에서 분리판 하부로 반응가스가 공급되어 상부 단위전지로 분산·공급된다. 반응이 이루어진 가스는 다시 하부 매니폴드로 모이고 스택 출구 관을 통하여 배출된다.

스택의 구성요소인 전극, 전해질, 매트릭스의 사양은 Table 1과 같다.

2.3 스택 전처리 운전

125kW급 MCFC 스택의 전처리 공정은 전극, 매트릭스 등의 구성요소 제작 시 사용된 불순물을 제

Table 1 Component specifications

Components	Thickness (mm)	Remarks
Anode	0.73	Ni + Al powder mixing Electrolyte impregnated
Cathode	0.7	Electrolyte impregnated
Matrix	0.3	γ-LiAlO ₂ , Al ₂ O ₃ fiber
Electrolyte	0.37~0.38	Added electrolyte At wet-seal area

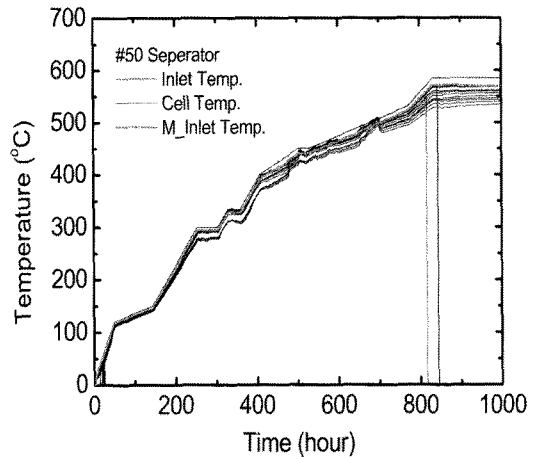


Fig. 4 Stack internal temp change during the pretreatment time (50cell).

거하고, 공기극의 전극을 산화시키는 과정이다. 125 kW급 용융탄산염 연료전지의 전처리 운전에서는 유기물 제거 구간 및 전해질 용융 구간 등으로 구분하여 구간 별 가스 조성 및 유량, 온도 유지 등 세심한 주의를 가지고 수행되었다. Fig. 4는 125kW MCFC 스택 전처리 시 스택 내부 운전 온도를 분리판 내 부착된 TC에 의해 측정된 결과이다.

125kW급 MCFC 스택 전처리 운전 시에는 300°C까지 질소로 전처리하는 스케줄을 확정하였다. 이때 300°C에서 48시간동안 유지하여 공기로 전환하기 전에 충분히 유기물이 배출되게 하였다. 또한 전해질이 용융되는 450°C에서 520°C까지의 구간에서 승온 시간을 더욱 천천히 하여 고 적층 스택의 발생할 수 있는 높이 편차를 최소화하도록 하였다.

Fig. 4는 전처리 운전이 끝날 때 까지 스택 내 단위전지 운전 온도 변화를 최소화하여 운전한 결과를 보여주고 있다. 스택 내 운전 온도의 변화를 최소화하는 경우 스택의 높이 변화를 최소화 할 수 있다^{3,4)}.

2.4 MCFC 스택 운전

스택 운전 초기에는 무 부하 상태에서 스택의 특성을 확인한 후 초기 성능을 확인하기 위한 부하운전을 실시하였다. 초기 부하는 PCS를 통하여 DC

Table 2 Operation records

Maximum power	120kW
Total generation	64MWh
Operating time	3,270hrs (~10.3.30)
Loading time	1,200hrs (~10.3.30)

출력 기준으로 30kW에서 120kW 까지 점차 증가시켜 정 부하 운전을 수행한 후, 전류밀도를 낮추어 100kW의 출력을 유지하면서 장기성능을 시험하였다. 스택의 운전시간 및 발전전력량을 Table 2에 정리하였다. 스택 전처리가 시작된 2010년 12월 8일부터 스택 해체시점인 2010년 3월 30일까지의 운전시간은 총 3,270시간이고, 이중 부하운전 시간은 1,200시간이다. 발생한 총 전력량은 64MWh, 평균 출력(총 전력량/부하운전 시간)은 53.33kW이었으며, 최대 출력은 120kW이었다. 스택 운전기간 동안의 출력상황은 Fig. 4에 나타내었다.

3. 75kW MCFC 스택 운전시험 결과

3.1 MCFC 스택 운전결과

초기 스택 성능을 확인하기 위해 연료극에는 수소, 이산화탄소 및 수증기 부피비를 72:18:10으로

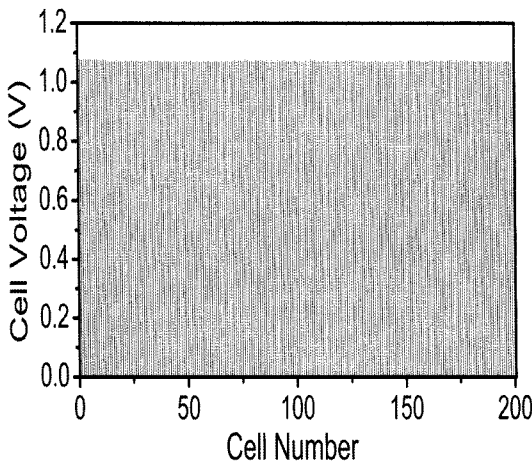


Fig. 5 OCV of 125kW MCFC stack.

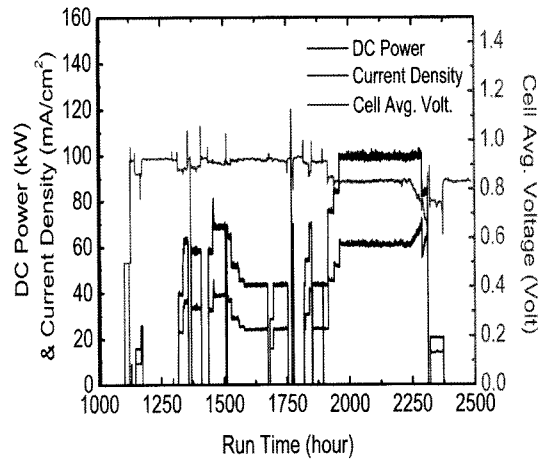


Fig. 6 History of 125kW MCFC stack operation

공급하고, 공기극에는 이산화탄소와 공기의 부피비를 30: 70으로 공급하면서, 시스템 인버터 부하를 높여가면서 전압 및 출력을 측정하였다. 초기성능 시험은 125kW까지 부하운전을 계획하여 부하는 PCS AC부하를 조정하면서 셀 평균전압이 0.7V 미만일 경우에는 추가로 부하를 가하지 않도록 운전을 진행하였다.

Fig. 5에서 무 부하 상태에서 스택의 전체 전압은 214V, 평균전압이 1.07V를 나타내었다. 스택은 최고 출력은 120kW DC 출력을 보여주었다. Fig. 6에 125kW MCFC 스택의 장기 부하운전에 따른 DC 출력 변동, 전류밀도, 셀 평균전압을 나타내었다. 부하는 전류밀도를 80mA/cm²에서 100mA/cm²으로 증가시켰고 이에 따라 전압은 0.98V에서 0.8V까지 선형적으로 감소하였다.

초기부터 1800시간 전까지는 대략 부하 운전 시 가스 유량을 조절하여 평균전압을 약 0.9V로 유지하여 운전하였다. 그 후 평균 전압 약 0.8V 정도에서 100kW DC 출력을 일정하게 생산하였다. 하지만 초기에 많은 트립(trip)에 의한 스택 손상으로 인해 2,220시간 이후 전압이 떨어지고 전류밀도가 증가하여 더 이상의 100kW 출력 유지가 어려웠다. 이는 스택 내부의 셀 온도와의 밀접한 관련이 있다.

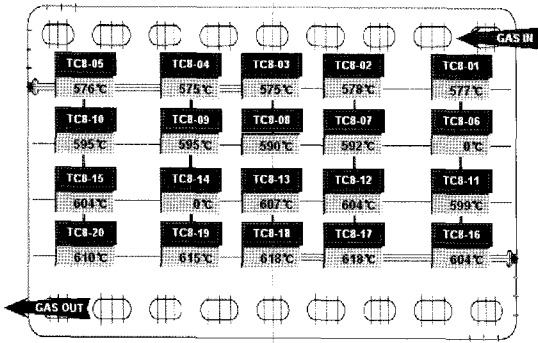


Fig. 7 Temp. distribution of a # 11 separator.

3.2 MCFC 스택 내부 온도 분포

스택의 각 단위전지에서 내부온도 분포는 가스 분배, 전류밀도에 따라 다르게 나타나며, 대면적 분리판과 고 적층스택에서 매우 중요한 변수이다. 스택의 80kW 부하운전 시 스택 내에 위치한 온도측정용 분리판에서 측정된 온도분포를 Fig. 7 및 Fig. 8에 나타내었다. 125kW MCFC 스택 내에서 온도 측정용 분리판은 하부에서부터 10번, 50번, 100번, 150번 및 190번 분리판에 설치되었다. Fig. 7과 8에서 80kW 부하 시 분리판 내 온도분포에서 보여주는 것과 같이 분리판 입구에서 출구로 그리고 하부에서보다 상부에서 즉, 유체 흐름방향으로 온도가 증가하는 경향을 보여주고 있음을 확인 할 수 있다.

또한 분리판 중간 지역을 기준으로 보면 분리판 하부(43°C)에서보다 상부(63°C)에서의 입출구 온도

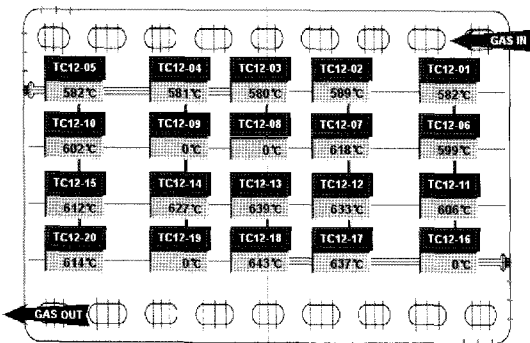


Fig. 8 Temp. distribution of a # 150 separator.

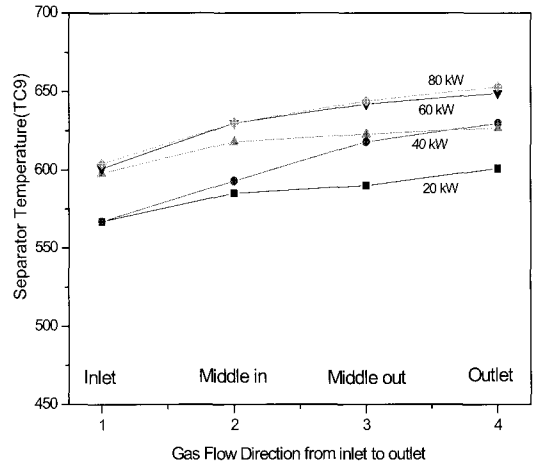


Fig. 9 Temperature profile of a stack.

차가 크게 나타나고 있다.

Fig. 9는 스택에 가한 부하율이 저 부하에서 고 부하로(20kW에서 80kW) 높아지면서 스택 하부 분리판 내 온도분포를 그래프로 표시한 것이다. 스택 내부에서 가장 온도가 높은 영역은 반응가스 흐름 방향으로 높았고, 스택내부에서 가장 낮은 온도는 567°C, 가장 높은 온도는 653°C로 저부하시 37°C, 고부하시 52°C의 온도 차이를 보여주었다.

스택 부하의 증가에 따라 전체적인 온도 분포가 증가하였고 분리판 입구 쪽에서 출구 쪽으로 부하의 증가에 따라 온도의 증가 폭이 커지고 있음을 알 수 있다. 이는 전력연구원에서 개발된 유동 해석 프로그램 Phoenics를 이용하여 스택 온도 분포 시뮬레이션 해석 결과와 같은 내용을 보여주고 있다⁵⁾.

5. 결 론

125kW MCFC 시스템을 설계·제작하고, MCFC 스택을 설치하여 운전평가를 실시하였다. 125kW급 MCFC 스택은 10,000cm² 유효 전극 면적을 갖는 단위전지를 적층하여 구성하였고, 가스 흐름은 internal manifold & co-flow type 형태이다. 전극 구성요소로 연료극(anode)은 Ni-Al alloy, 공기극(cathode)은 Lithiated-NiO 그리고 매트릭스는

γ -LiAlO₂로 제작되고 전해질은 Li/K Carbonate가 68/32 비율로 섞인 전해질을 사용하였다.

125kW급 스택은 700여 시간 전처리 과정을 가진 후, 초기 성능을 확인하기 위하여 부하운전을 실시하였다. 스택 전처리가 시작된 2010년 12월 8일부터 스택 운전 종료 시점인 2010년 3월 30일까지의 운전시간은 총 3,270시간이고, 이중 부하운전 시간은 1,200시간이었다. 초기 무 부하(0 A)상태에서 스택 전체 전압은 214V, 평균전압이 1.07V를 보여주었다. 스택 최고출력은 120kW 이었고, 1800시간까지는 부하 운전 시 가스 유량을 조절하여 평균전압을 약 0.9V로 유지하여 운전하였다. 그 후 평균 전압 약 0.8V 정도에서 100kW DC 출력을 일정하게 생산하였다.

스택에 가한 부하율이 저 부하에서 고 부하로 높아짐에 따라 스택 내부에서의 온도는 점점 증가하였으며, 전체적으로 온도측정용 분리판의 입구에서 출구, 그리고 하부에서 상부, 즉 유체 흐름방향으로 온도가 증가하는 경향을 보여주었다. 또한 스택에서 부하 증가에 따라 출구 쪽 온도 차가 크게 증가하고 있음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 2004년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. R-2004-1-142-01).

참 고 문 헌

- 1) 임희천, 강승원, 김도형, 김범주, 이정현 “250 kW급 열병합 용융탄산염 연료전지 Proto Type 개발 및 평가기술개발(2단계 최종보고서)”, 한전 전력연구원, 대전, 2010.
- 2) 임희천, 안교상, 김도형, 강승원, 김범주 “250 kW 발전용 용융탄산염 연료전지 기술 개발 (시스템 및 BOP 설계)”, 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, 2007, pp. 195-196.
- 3) Hee-Chun Lim, Do-Hyung Kim, Seung-Won Kang, Beum-Ju Kim, Jung-Hyun Lee, and Joong-Hwan Jun: “A Test Results of a 75 kW MCFC Short Stack with 1 m² separator for 250 kW MCFC system Development”, Proceedings of 10th AHEC, Korea, 2009, p. 77.
- 4) 강승원, 김범주, 김도형, 이정현, 김의환, 임희천: “75kW 용융탄산염 연료전지(MCFC) 스택 운전 결과”, 한국수소 및 신에너지학회논문집, Vol. 19, No. 5, 2009, pp. 202-207.
- 5) 김도형, 김범주, 이정현, 강승원, 임희천, “전기 부하에 따른 용융탄산염 연료전지 스택 온도 분포에 관한 수치 해석 연구”, 한국수소 및 신에너지학회 논문집, Vol. 21, No. 4, 2010, pp. 258-263.