한국수소 및 신에너지학회 논문집(2009. 6), 제20권 제3호
Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society(2009. 6), Vol. 20, No. 3, pp. 202~207

75kW 용융탄산염 연료전지(MCFC) 스택 운전 결과

강승원*, 김범주*†, 김도형*, 이정현*, 김의환*, 임희천*
*한전 전력연구원 녹색성장연구소

The Operating Results of the 75kW MCFC Stack

SEUNGWON KANG, BEOMJOO KIM*†, DOHYEONG KIM*, JUNGHYUN LEE*, EUIHWAN KIM*, HEECHUN LIM*
**Green Growth Laboratory, Korea Electric Power Research Institute, KEPCO*
Munji-dong, Yuseong-gu, DeaJeon, Korea

ABSTRACT

A 75kW MCFC stack with the reactive area of 9,600cm^2 has been operated and validated in Boryeong thermal power plant. The 75kW MCFC stack was installed at the end of November 28, 2008 and started initial operation on December 23, 2008 after pretreated for about 20 days. At initial load operation, the stack showed the Open Circuit Voltage of 137V ,which approaches the theoretical value. At the early stage of rated power operation, the stack displayed the voltage of 104V at the current of 754A and reached the maximum generating power of 78.5kW DC. This stack has been operated for 2,890 hours until April, 2009. In addition, the operation time of rated power records 1890 hours. This Operating result is scheduled to be reflected the design of 125kW stack.

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

1. 서 론

용융탄산염 연료전지 기술개발은 1993 년부터 국가 G7 신 에너지 개발 사업으로 "2 kW급 MCFC 시스템 개발" 연구에 착수하여 기초 기반기술 개발에 성공하였고, 이어 100kW급 MCFC 개발 사업으로 50kW급 MCFC 스택을 제작 운전시험을 완료하였다. 이로부터 확립된 상용 기초 기반 기술을 바탕으로 현재 250kW급 MCFC 발전 시스템 개발이 진행되고 있으며, 250kW급 발전 시스템은 125kW급 MCFC 스택 2기로 구성될 예정이다. 125kW급 MCFC 스택은 1m^{2}의 전극 반응 면적을 갖는 단위전지들로 구성될 예정이며, 가스의 흐름은 Internal Manifold & Co-flow Type 형태로 되어있다. 전극 구성요소로 anode 전극은 Ni-Al alloy, cathode는 Lithiated-NiO 그리고 매트릭스는 α-LiAlO2로 제작되고 전해질은 Li/K Carbonate가 68/32 비율로 섞인 전해질을 사용할 예정이다.

각 구성요소 별 기술 수준을 점검하고 개발방향을 점검하기 위하여 125kW 스택을 제작하여 운전

†Corresponding author : bjkim@kepri.re.kr

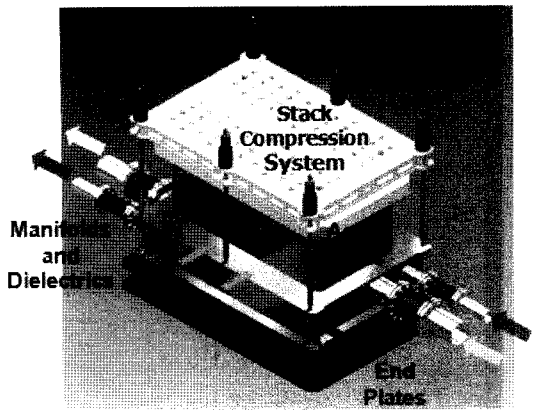

Fig. 1 The exterior of 75kW MCFC stack.

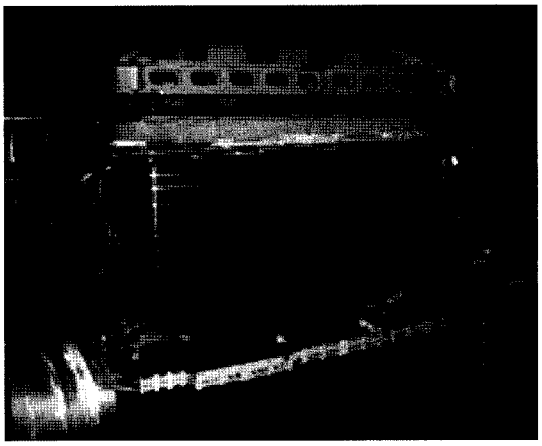

Fig. 2 75kW MCFC stack installation.

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_2O_3 fiber
Electrolyte	0.37~0.38	Added Electrolyte At wet-seal area

하기 전에 중간규모의 75kW급 MCFC short stack을 제작 운전평가를 시행하였다.

75kW급 MCFC short stack은 10,000cm^2 유효 전극 면적을 갖는 단위전지 128장으로 구성되었다. 특히 soft rail 형태의 내부 매니폴드형 분리 판을 개발하고 이에 대한 신뢰성 평가, 및 내부 유동상태를 확인하였다. 이번 운전은 이러한 분리판을 사용해 적층 스택의 온도 및 농도 분포를 확인하고, 안정된 스택 운전 조건을 도출하는 것을 그 목적으로 하고 있다.

본고에서는 보령화력 발전소 연료전지 시험 동에서 2008년 11월에 설치되어 운전 시험을 진행한 75 kW급 MCFC short stack 운전 결과를 정리 한 내용이다.

2. 75kW MCFC 스택 장착 및 운전

2.1 MCFC 스택 구성

Fig. 1, Fig. 2는 75kW급 MCFC 스택의 외관과 치수를 보여주고 있다. 75kW MCFC 스택은 연료극(anode) 및 공기극(cathode)로 구성 된 전극, 전해질, 메트릭스와 내부 매니폴드 형태의 분리판으로 이루어진 단위전지를 그 기본으로 하고 있다. 단위전지는 10,000cm^2 반응면적을 가지고 있고 이들 단위전지 128장 적층되어 MCFC 스택을 구성하게 된다. 스택 내 반응가스를 공급하기위한 스택 내부에 입, 출구 매니폴드를 가지고 있으며 스택 내 유동은 입구 매니폴드에서 분리판 하부로 반응가스가 공급되어 상부 단위전지로 분산 공급 된다. 반응이 이루어진 가스는 다시 하부 매니폴드로 모이고 스택 출구 관을 통하여 배출된다. 따라서 스택 내 anode 가스와 cathode 가스는 같은 쪽에서 들어와서 반대방향으로 나가는 평행류(Co-Flow Type)형태를 보여주고 있다. 한편, 스택의 구성요소인 전극, 전해질, 매트릭스의 사양은 Table 1에 정리하여 놓았다. 전해질이 함침된 전극을 적용시켜 스택 처짐과 출력 성능의 개선을 꾀하였다.

2.2 MCFC 스택 운전 설비

MCFC 스택을 운전하기 위한 test stand의 개략도를 Fig. 3에 나타내었다. 75 kW MCFC 운전 장

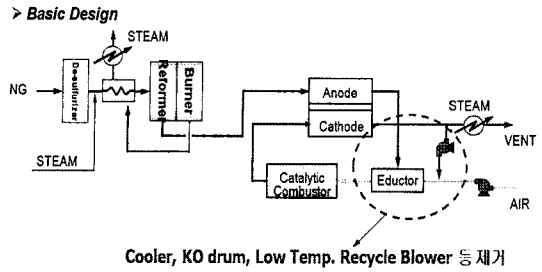

Fig. 3 75kW MCFC system configuration.

Table 2 Operation records

최고출력	78.5kW DC
총발전량	45.8MWh
총운전시간	2,892 시간 ('09.3.30 기준)
총부하운전시간	1,890시간 ('09.3.30 기준)

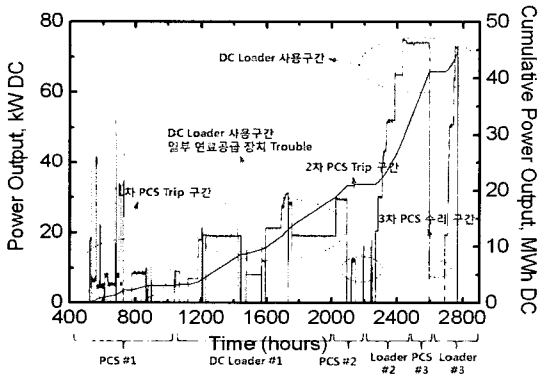

Fig. 4 History of MCFC stack operation.

치는 Fig. 3에서 보는 것과 같이 개질기와 MCFC 스택, 그리고 연료극(anode) 재순환 시스템으로 구성된다. 이외 개질기 및 스택 내에 스팀을 공급하는 증기 발생기와 수처리 장치, 공기공급 장치 등도 포함된다.

연료극에는 개질기에서 천연가스로부터 개질반응을 통하여 얻게 되는 수소와 수증기, 그리고 이산화탄소가 공급된다. 촉매연소기에서 생성된 이산화탄소와 스택의 연료극에서 전기화학 반응에 의해 생성된 이산화탄소가 재순환되어 블로워를 통해 들어온 공기와 함께 공기극(cathode)로 공급된다. 가스들은 촉매연소기 및 전기히터에 의해 600℃ 이상으로 가열된 스택 내로 공급된다. 스택 내에서는 anode 및 cathode에 공급된 반응가스가 전극 내에서 반응하여 전기를 생산하고 반응 가스는 외부로 배출된다.

2.3 스택 전처리 운전

75kW급 MCFC stack 전 처리 운전은 모의실험의 결과를 토대로 그 일정을 결정하였다. 전처리 공정은 전극 등 구성요소 제작 시 사용된 불순물을 제거하고 공기극의 전극을 산화시키는 과정이다. 이론적으로 용융탄산염 연료전지 스택 전 처리 공정은 전처리 시간 조건은 변하지 않고 용량에 따라 유량만 변화시킨다. 하지만 실제 용량이 커지면 제거되어야 하는 유기물 양도 많아지며 스택의 적층수가 많아져 유량을 늘리는 것만으로는 불충분 할 경우가 많다. 75kW급 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. 75kW급 MCFC stack 전 처리 운전 시에는 스택 온도 300℃ 유지 후 가스 의 전환, 480℃ 근처에서 전해질 용융 시점 등에 주의를 기울여 수행되었다.

2.4 MCFC 스택 운전

스택은 초기에는 무부하 상태에서 스택의 특성을 확인한 후 483시간부터 초기 성능을 확인하기 위한 부하운전을 실시하였다. 초기 부하는 PCS를 통하여 DC 출력 기준으로 75kW 까지 점차 증가시켜 정부하 운전을 수행한 후 전류밀도를 낮추어 20~30kW의 출력을 유지하면서 장기성능을 시험하였다. 스택의 운전시간 및 발전전력량을 Table 2에 정리하였다. 스택 전처리가 시작된 2009년 11월 27일부터 스택 해체시점인 2009년 3월 30일까지의 운전시간은 총 2,892시간이고, 이중 부하운전 시간은 1,890시간이었다. 발생된 총 전력량은 45.8MWh,

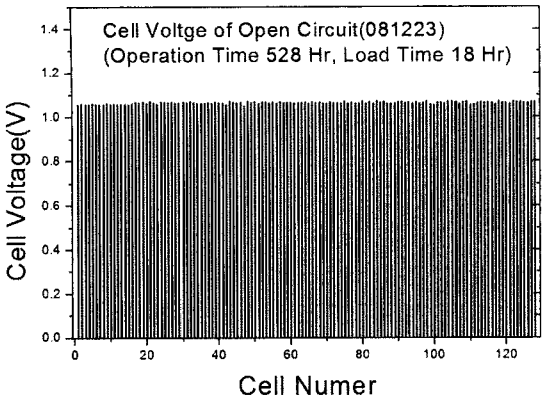

Fig. 5 Open circuit voltage of 75kW MCFC stack.

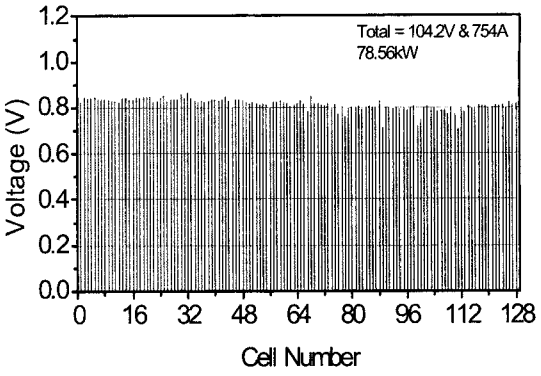

Fig. 6 Cell voltage distribution in maximum power of 78.5 kW.

평균 출력(총 전력량/부하운전 시간)은 24.23 kW 이었으며, 최대 출력은 78.5kW이었다. 스택 운전 기간 동안의 출력상황과 누적 출력량은 Fig. 4에 나타내었다.

3. 75kW MCFC 스택 운전시험 결과

3.1 MCFC 스택 운전결과

셀 초기 스택 성능을 확인하기 위해 연료 극에는 수소, 이산화탄소 및 수증기의 부피비를 72:18:10으로 공급하고, 공기극에는 이산화탄소와 공기의 부피비를 30:70으로 공급하면서, 인버터 부하를 높여가면서 전압 및 출력을 측정하였다. 초기성능 시험은 75kW까지 부하운전을 계획하였고, 부하를 올려가면서 셀 평균전압이 0.7V 미만이 될 경우에는 추가로 부하를 가하지 않도록 운전을 진행하였다. 무부하 상태에서 스택의 전체 전압은 137V, 평균전압이 1.07V를 나타내었다. 스택의 최고출력은 754A에서 셀 전압 103.7V, 평균전압이 0.81V로 78.5 kW DC 출력을 보여주었다. 스택의 전압은 전류밀도를 증가시킴에 따라 선형적으로 감소하였다. Fig. 5에서 75kW MCFC 스택의 전압 분포를 나타내었다. Fig. 6은 최대 78.5kW의 출력을 내고 있을 때, 전압분포를 나타낸 그림이다. 무부하 상태에서 평균전압은 1.068V이었으며, 부하가 증가함에 따라 전압이 감소하여, 130mA/cm^{2}의 전류밀도에서는 단위전지의 평균전압은 0.716V였다.

Fig. 7은 부하에 따른 연속운전 특성을 나타낸 것이다. 무부하 상태에 있던 스택을 수소유량을 증가시키면서 32kW, 40kW, 50kW, 78kW로 PCS를 통해서 전력을 생산한 그림이다. 원하는 전력을 생산을 위한 시간지연이 거의 없었으며, 문안하게 목표출력까지 상승하는 특성을 나타내고 있다.

3.2 MCFC 스택 내부 온도 분포

스택의 각 단위전지에서 내부온도 분포는 가스 분배, 전류밀도에 따라 다르게 나타나며, 대면적 분리판과 고적층스택에서 매우 중요한 변수이다. 스택의 부하운전시 온도측정용 분리판에서 측정한 온도분포를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8은 50kW DC 운전 상태에서 내부에 설치된 온도측정용 분리판의 온도를 나타내고 있다. 스택 내 설치 된 온도 측정 분리 판은 하부에서 11번째 및 66번 째 설치되어 있으며 온도측정의 기준점으로는 하부에 위치한 온도측정 분리판을 기준으로 하였다.

스택에 가한 부하율이 저부하에서 고부하로 높아지면서라 스택 내부의 온도도 점차 증가하였으며, 전체적으로 온도측정용 분리판의 입구에서 출구로 즉, 유체 흐름방향으로 온도가 증가하는 경향을 보여주었다. Fig. 9은 온도측정 분리판에서 측정한 내부온도 분포와 전력연구원에서 유동해석 프로그램의 일종인 Pheonics을 이용해서 스택 온

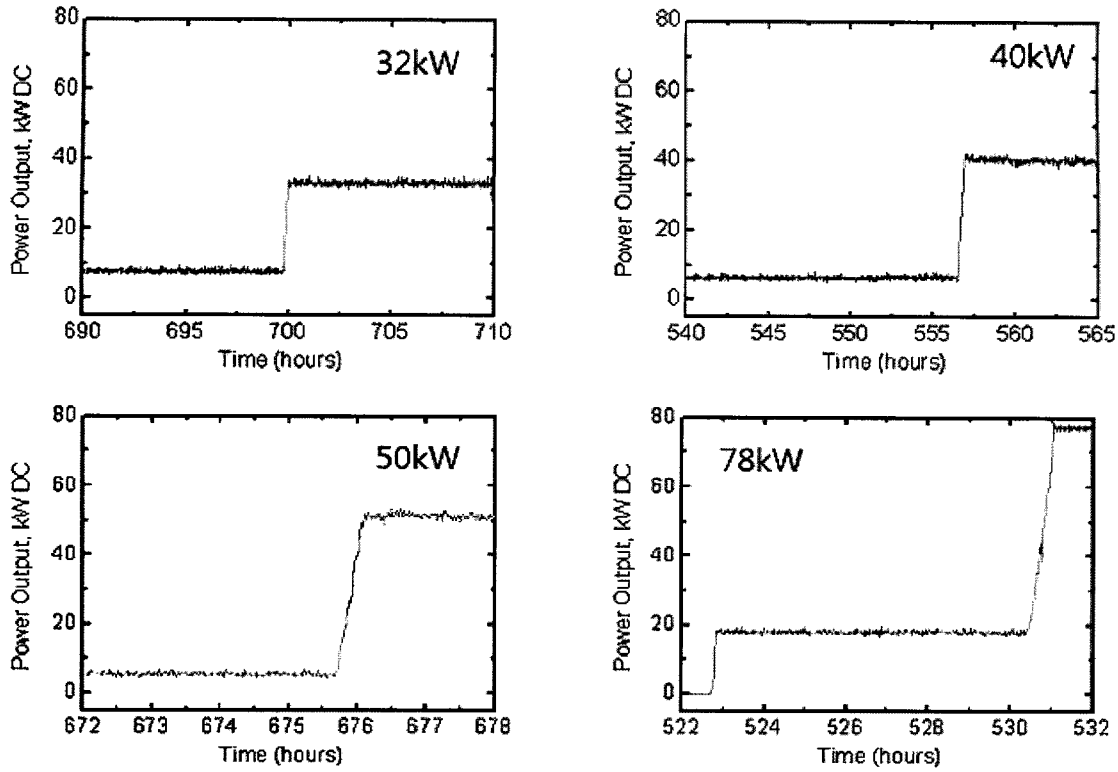

Fig. 7 Operation according to generating power.

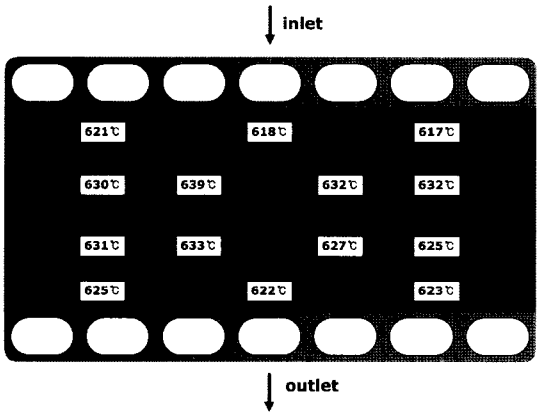

Fig. 8 Temperature distribution of a separator.

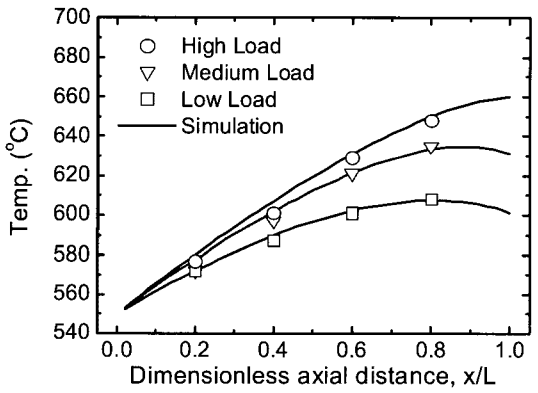

Fig. 9 Temperature profile of a stack.

도 분포 시뮬레이션 결과와의 비교치를 나타내고 있는 그림이다. 그림에서와 같이 분리판 입구 쪽에서 출구 쪽으로 부하의 증가에 따라 온도의 증가 폭이 커지고 있음을 알 수 있다.

1,487시간을 기준으로 스택 내부에서 가장 온도가 높은 영역은 반응가스 흐름방향으로 3/4지점이 온도가 가장 높았고, 스택내부에서 가장 낮은 온도는 583℃, 가장 높은 온도는 676℃로 93℃의 온도

차이를 나타내었다.

5. 결 론

125kW MCFC 스택을 제작하기 전에 중간규모인 75kW급 MCFC short stack을 제작하여 운전평가를 시행하였다. 75kW급 MCFC stack은 10,000 cm^2 유효 전극 면적을 갖는 단위전지 128장을 적층하여 구성되어 있고 가스 흐름은 Internal Manifold & Co-flow Type 형태로 되어있다. 전극 구성요소로 Anode 전극은 Ni-Al alloy, Cathode 는 Lithiated-NiO 그리고 매트릭스는 α-LiAlO2로 제작되고 전해질은 Li/K Carbonate가 68/32 비율로 섞인 전해질을 사용하였다.

75 kW은 스택은 483시간 전처리 과정을 가진후 초기 성능을 확인하기 위한 부하운전을 실시하였다. 스택 전처리가 시작된 2009년 11월 27일부터 스택 해체시점인 2009년 3월 30일까지의 운전시간은 총 2,892 시간이고, 이중 부하운전 시간은 1,890 시간이었다. 초기 무 부하(0 A)상태에서 스택 전체 전압은 137V, 평균전압이 1.07V를 보여주었고 스택의 최고출력은 754 A에서 셀 전압 103.7 V, 평균전압이 0.810 V로 78.5 kW DC 출력을 보여주었다.

스택에 가한 부하율이 저 부하에서 고 부하로 높아짐에 따라 스택 내부에서의 온도는 점점 증가하였으며, 전체적으로 온도측정용 분리판의 inlet부에서 outlet부로의 유체 흐름방향으로 온도가 증가하는 경향을 보여주었다. 또한 스택에서 부하 증가에 따라 출구 쪽 온도 차가 크게 증가하고 있음을 알 수 있었다. 시뮬레이션 결과와 맞추어 볼 때 입구에서 출구 쪽 반응가스 흐름 방향으로 3/4지점까지 온도분포는 가장 높게 나타나고 있음을 예측할 수 있었다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 "250kW급 열병합 용융탄산염 연료전지 Proto Type개발"일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1) 임희천 외: 250 kW급 열병합 용융탄산염 연료전지 개발 2단계 2차년도 사업보고서, 한전전력연구원, 대전, 2007.
2) 임희천, 안교상 :"MCFC 발전 시스템 개발 III", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, 2007.
3) Hee Chun Lim et al. : "a Test Results of a 75kW MCFC Short Stack with 1cm^2 separator for 250kW MCFC system Development", Proceedings of 10th AHEC, Korea, 2009.
4) 김범주 외 : "75kW 용융탄산염 연료전지(MCFC) 스택 내 압력 손실 해석", 한국수소 및 신에너지학회논문집 제19권 제5호, 한국, 2008년.