

2kW급 용융탄산염형 연료전지스택 운전시험

임희천, 설진호, *강인준, **홍성안
한전 전력연구원, *삼성중공업, **한국과학기술연구원

Operation Test Result of 2kW MCFC Stack

H-C Lim, J-H Seol, *I-J Kang, **S-A Hong
Fuel Cell Project Team, KEPRI, *SHI, **KIST

1. 서론

연료전지발전은 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 발전방식으로 에너지 변환효율이 높고, 연료의 사용이 다양하고 공해가 적다는 등의 장점으로 소규모 분산형 전원으로 부터 대형 화력발전대체용 전원등 다양한 용도로 이용이 가능하다. 이러한 연료전지 발전중 고온형 연료전지로 불리워지는 용융탄산염형 연료전지 (Molten Carbonate Fuel Cell)는 동작온도가 650 °C로 고온에서 동작되기 때문에 석탄을 연료로 사용할 수 있으며 또한 배가스를 이용하는 복합발전을 통하여 더욱 높은 효율을 기대할 수 있다.

한전 전력연구원에서는 93년부터 2kW급 MCFC 발전시스템 개발을 위한 연구를 진행하고 있는데 이를 위하여 94년말에는 1.5 kW급 스택을 제작 운전특성시험을 실시한데 이어 96년초에는 본 과제의 최종목표인 2 kW급 스택을 제작하여 운전특성 시험을 실시하였다. 본고에서는 특성시험을 실시하기 위하여 2 KW급 MCFC스택 운전시험설비를 설계, 제작하여 종합시스템을 구성하고 이를 통하여 Co-Flow형태의 2kW급 스택을 제작, 운전시험을 실시한 결과를 요약한 것이다.

2. 시험용스택 및 운전시험설비의 구성

Co-flow 형태의 MCFC스택은 Cathode, Anode, 전해질로 구성되는 단위전지를 여러장 쌓아 이들을 전기적으로 직렬로 연결하여 필요로 하는 전기를 발생시킨다. 재료로는 Anode가 Ni-10%Cr을 그리고 Cathode는 NiO를 In-situ 방법으로 산화시킨 NiO를 사용하였다. Anode와 Cathode 사이에는 γ -LiAlO₂로 이루어진 매트릭스가 위치하며 여기에 함침되는 전해질로는 탄산염(Li₂CO₃/ K₂CO₃ = 70:30)을 이용한다. 전기의 집전체로는 Anode쪽에 Ni Plate 그리고 Cathode쪽에는 SUS Plate를 이용하며, 전기적 절연 및 가스공급 통로를 위하여 SUS로 된 분리판을 사용한다. 분리판의 형태는 내부메니폴드(Internal manifold)형으로, 그리고 가스흐름 방향은 양극에서 반응가스가 같이 흐르는 형태인 Co-flow 방식으로 설계 제작하였다. 본 실험에 사용된 스택은 전극의 유효면적이 1,000cm²인 단위전지를 20매 적층하여 사용하였다.

2 kW MCFC스택 운전시험설비는 크게 가스공급부, 공급가스에열부, 스택장착 운전부 배가스처리부와 그리고 제어 및 자료수집부로 구성된다. 가스공급부는 반응가스로 있는 수소와 산소 그리고 이산화탄소를 공급하기 위하여 유량조절기(MFC:Mass Flow Controller)의 제어 신호를 통하여 Control Valve의 개도를 조정하여 공급되는 가스의 양을 조절하였고, Anode쪽에는 탄소석출을 방지하기 위하여 가습기를 설치하였다. 스택의 동작온도는 650°C로서, 스택온도는 스택의 상 하판에 Cartridge 형태의 전기히타가 열을 공급하고 이들 온도는 별도의 온도조절기를 통하여 제어되며, 스택에 공급되는 가스는 열충격을 방지하기 위하여 양극으로 가는 공급가스 라인상에 Anode 및 Cathode 가스에열기를 설치하여

공급가스를 적정온도까지 예열하였다. 스택은 스택고정대에 설치하는데 구성요소간의 접촉저항의 감소를 위하여 스택상부에서 Air Cylinder를 통하여 균일한 압력이 가해지도록 하였고 스택외부는 단열재로 감싸 열손실을 줄여 스택내에서 온도의 분포가 균일화 되도록 하였다. 스택에서 반응후 배출되는 양극의 가스는 아주 고온이기 때문에 이들 가스를 냉각하기 위한 냉각기를 설치하였고 냉각기를 거친 가스는 기수분리기를 통하여 물과 분리되고 분리된 잉여수소는 Flair Stack을 통하여 연소된 후 외부로 배출된다.

스택의 성능측정은 정전류 부하장치인 3,000W용량의 전자부하(HP 6050)장치를 설치하여 전압을 측정하였다. 제어 및 자료수집부는 제어판넬, PC, 그리고 PLC등으로 구성되어 있는데 스택에 공급되는 유량 및 가습기, 예열기의 온도는 PLC를 통하여 PC상에서 자동으로 제어, 운전되고 또한 자료의 수집 및 저장도 동시에 이루어 지도록 설계 제작하였다. 배가스의 조성은 G.C(HP5890) 및 Gas analyser를 통하여 확인하였다. 그림 1은 2kW MCFC운전 시험설비의 개략도를 보여주는 그림이다

3. 운전특성시험결과

3-1 스택의 운전시험조건

스택에 공급되는 가스는 국내에서 일반적으로 사용되는 표준가스를 이용하였고 이를 위하여 수소가스 Bombe 20병을 하나의 Bundle로 하여 4본의 Bundle을 제작 수소저장실에 설치하였다. Anode에 공급되는 연료가스는 천연가스를 개질하여 얻을 수 있는 기체조성인 $H_2 : CO_2 : H_2O$ 의 비가 72% : 18% : 10% (가습 온도 55°C)가 되도록 수소 60 l/min 이산화탄소 15 l/min를 공급하고 Cathode에 공급되는 산화제가스는 Air_2 / CO_2 의 몰비가 70% : 30%가 되도록 공기의 양을 140 l/min 그리고 이산화탄소의 양을 60 l/min가 되도록 조절하였다. 스택은도는 상부 Cell Frame과 하부 Cell Frame의 온도가 650°C가 되도록 온도조절기로 제어하였고 운전시험시 전류밀도 150mA/cm² 일때 전압의 변화를 측정하였다.

스택의 운전은 스택구성요소인 단위전지를 제조하기 위하여 첨가된 이물질 제거하고 또한 Cathode 쪽의 산화 및 전해질 Matrix의 소성을 위하여 단계별로 적정한 운전온도 및 가스양을 조절하는 전처리과정이 필요하다. 전처리과정은 가스의 조성을 변화시키면서 약 160시간 정도가 되도록 조정하는데 보통 이물질의 경우 300°C에서부터 분해되기 시작하며 500°C 부근에서는 전해질인 용융염이 용융되어 600°C 부근에서부터 반응이 시작된다. 본 스택에서는 용융탄산염형 연료전지 운전온도인 650°C가 도달되었을때 부터 반응가스를 공급하였고 스택이 안정되었을때 부하를 걸어 성능을 측정하였다.

3-2 스택의 초기성능

그림 2는 산화제로 공기를, 연료로 수소를 공급하여 운전할때의 MCFC 스택의 I-V 특성을 보여주고 있다. 이때의 공급가스의 유량은 전류밀도 150 mA/cm² 일때 연료이용율이 40%가 되는 조건으로 고정하였다. 부하를 걸기전 개회로전압(Open Circuit Voltage)은 1.028V에서 1.072V사이로서 이론치인 1.12V에는 미치지 못하고 있으나 이는 초기성능으로 운전시간의 경과에 따라 향상될 것으로 여겨지나 전해질 매트릭스의 성능개선이 필요함을 보여주고 있다. 초기성능을 살펴보면 150mA/cm²일때의 전압은 1.428V로서 설계된 출력보다 높은 2,142W를 보여주었다. 또한 이때의 단위전지의 평균전압은 0.714V로서 본과제의 개발목표인 0.7V를 보여주었다. 단위전지의 배열은 상부히타로부터 구분하여 No.1 Cell로부터 No.20 Cell까지로 분류하고 있는데 전류밀도를 150 mA/cm²에 고정시키고 가

스이용율을 40%에 조정한 후에 측정된 각각의 단위전지 전압의 분포를 살펴보면 그림 3과 같다. 스택에 있어서의 단위전지 전압분포는 최초 성능측정시에는 아주 고른 분포를 보였으나 수시간 경과후 재측정시 No.2 Cell의 0.854V에서부터 No.15 Cell의 0.563V로 단위전지 전압의 표준편차가 112.6mV로 이전의 스택보다 이주 크게 나타나고 있어, 스택의 대형화에 따라 단위전지의 전압분포 성능이 크게 저하되고 있는 것으로 나타나고 있다. 이는 스택내 단위전지의 구성요소의 대형화에 따른 성능 저하보다는 분리판의 대형화에 따른 가공불량에 의한 것으로 추측되어 이의 개선이 필요하다.

MCFC스택의 성능평가시에는 발생된 전압에 대한 전환효율을 살펴볼 필요가 있다. 연료전지의 효율은 연료이용율과 평균단위전지의 전압으로부터 에너지의 변환효율을 산출할 수 있는데 전극의 유효면적을 $A(\text{cm}^2/\text{Cell})$, 적층수를 S , 연료이용율을 $U_f(\%)$ 그리고 전류밀도를 $J(\text{A}/\text{cm}^2)$ 라고 하면 다음과 같은 식으로 표시할 수 있다.

$$\eta =$$

$$J \times A (\text{A}/\text{Cell}) \times v (\text{V}) \times S \times 860 (\text{kcal}/\text{kW})$$

$$\text{-----}$$

$$2580 (\text{kcal}/\text{Nm}^3) \times J \times A \times S / 2 \times 96500 \times 3600 \times 22.4/U_f \times 10(\text{Nm}^3/\text{H})$$

$$\eta = 0.7978 \times v \times U_f \text{ 가 된다}$$

이식에 의하면 2kW MCFC 스택의 효율은 연료이용율이 40%인 경우, 22.78% 정도가 되며 실용시스템의 경우처럼 연료이용율을 80%이상으로 높힐 경우 효율은 50%이상일 것으로 예측된다.

4. 결론

실용스택 개발을 위하여 전극유효면적이 $1,000\text{cm}^2$ 인 단위전지를 20단 적층한 Co Flow형 MCFC스택을 제작하고 성능측정설비를 구성하여 운전성능시험을 실시하였다. 연료로는 $\text{H}_2/\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 의 비율을 72%/18%/10%로 조성한 가스를 이용하였고 산화제가스로는 Air/CO_2 의 비율이 70%/30%가 되는 가스를 이용하였다. $150\text{mA}/\text{cm}^2$ 정부하 상태에서의 초기성능은 스택전압이 14.28V이었고 이때 출력은 2142W를 기록하였고 단위전지의 평균전압은 0.714V를 나타내었다. 스택내 단위전지 전압분포에서 표준편차가 112 mV로 아주 높게 나타났는데 이는 분리판의 가공정도가 나쁘기 때문으로 여겨진다.

*참고문헌

1. 임희천, 실진호, 류철성, 이창우, 홍성안: 교차류형 100Wrmq 용융탄산염형 연료전지 스택 장기운전 평가“ 한국수소에너지학회 Vol.6 No.2(1995)
2. 남석우, 임태훈, 오인환, 이갑수, 윤성필, 홍성안, 임희천, 이창우, 선양국: “용융탄산염형 연료전지스택의 운전특성 I” 화학공학, Vol.33 No.5 (1995)
4. Y. Mukikura, T. Watanabe, Y. Izaki, T. Abe: Endurance test of MCFC Study of endurance improvement for MCFC, W91043, CRIEPI(1992)

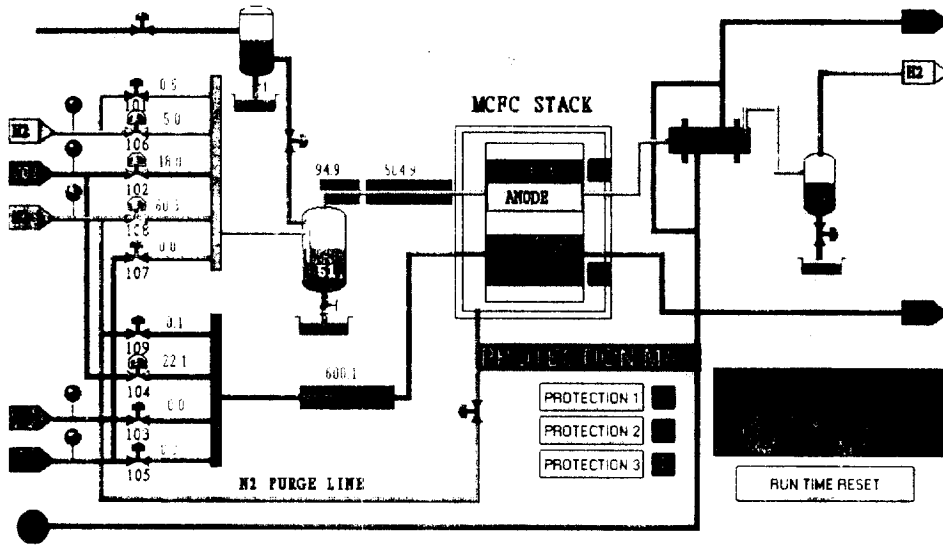


Fig.1 Configuration of 2kW MCFC stack test facility

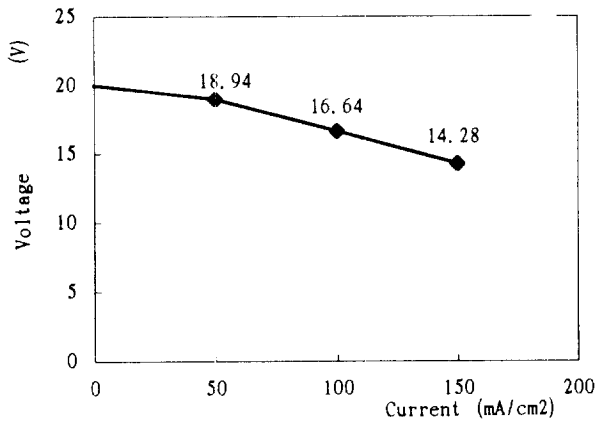


Fig.2 I-V curve of 2kW MCFC stack

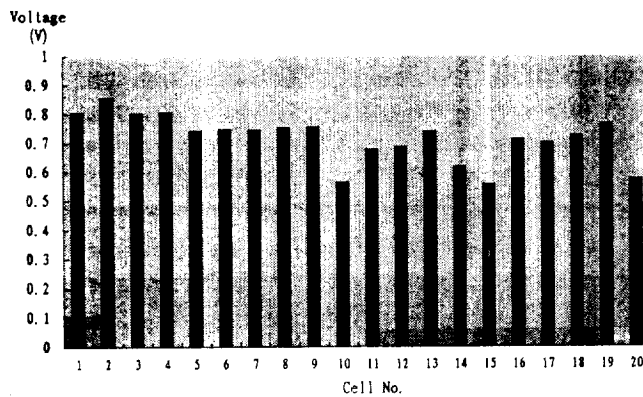


Fig.3 Voltage distribution of 2kW MCFC stack