

**1.5kW급 용융탄산염 연료전지 스택의 운전특성**

**이갑수, 남석우, 임태훈, 오인환, 홍성안, 임희천\*, 이창우\*, 황정태\*\*, 선양국\*\*  
한국과학기술연구원 화공연구부  
한국전력공사 기술연구원\*  
삼성중공업(주) 중앙연구소\*\***

**The Operational Characteristics of 1.5kW Class MCFC Stack**

**K.S.Lee, S.W.Nam, T.H.Lim, I.H.Oh, S.A.Hong,  
H.C.Lim\*, C.W.Lee\*, J.T.Hwang\*\*, Y.K.Sun\*\*  
Division of Chemical Engineering, KIST  
KEPCO Research Center\*  
Daeduk R&D Center, Samsung Heavy Industry\*\***

**서론**

용융탄산염 연료전지의 실용화를 위하여는 전지의 성능 및 수명의 향상과 아울러 발전 목적에 따른 대용량화가 요구된다. 분산형 전원 및 중앙 공급형 발전 목적으로 용융탄산염 연료전지를 사용할 경우 수십 MW 이상의 발전 용량이 요구되며, 이러한 대형 용융탄산염 연료전지 발전 시스템은 수백 kW급 용융탄산염 연료전지를 기본 단위로 하여 이들을 서로 연결함으로써 구성 가능하다. 용융탄산염 연료전지의 대형화는 단위전지 전극 면적의 확대 및 단위전지의 적층(stacking)을 통하여 이루어진다. 즉, 전극의 대형화를 통하여 고전류를 얻을 수 있으며, 단위전지의 적층 수를 증가시킴으로써 고전압화가 가능하여 용융탄산염 연료전지의 전체 출력이 향상되는 것이다.

용융탄산염 연료전지 스택은 단위전지를 분리판(separator)과 함께 여러 단 적층하여 놓은 것으로서 스택 내의 각 단위전지는 분리판으로 부터 반응 기체를 공급 받으며, 전기적으로는 직렬 연결되어 대용량 연료전지를 구성하게 된다. 여러 단의 단위전지가 적층된 스택은 각 단위전지들의 구성요소인 전극 및 전해질 matrix의 기공 구조 및 두께 등의 물리적 특성이 동일하지 않고, 운전 환경(유량 및 유압분포, 온도분포 등)도 다소 차이가 나게 되므로 전체적으로 동일한 성능을 보이지는 않는다. 그러므로 스택 기술의 신뢰성 및 재현성을 확립하기 위하여는 각 단위전지들의 적층 및 운전 환경의 차이를 최소화하여 균일한 성능분포를 갖도록 하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 용융탄산염 연료전지 적층 기술 확립을 목표로 여러 형태의 내부 분배형(internal manifolding) 스택을 설계, 제작하였으며, 그 중간 단계로 1.5kW급 용융탄산염 연료전지 스택을 구성하여 운전 특성을 살펴보았다.

## 실험

유효 전극면적이  $625\text{cm}^2$ 인 단위전지를 20단 적층한 co-flow형 1.5kW급 스택을 구성하였다. 스택용 분리판은 center plate에 2장의 mask plate를 에칭 가공 후 레이저 용접하여 사용하였고, 전극, matrix, 전해질판은 tape-casting 방법으로 제작하여 전지에 장착하였다. 운전변수에 따른 스택 성능을 살펴보기 위하여 운전 온도, 가스 이용율, 가스 조성등을 변화시키면서 이에 따른 성능 변화를 전체 스택 및 각 단위전지별로 측정하였고, 공기-CO<sub>2</sub>를 산화제로 사용하여 500시간 동안 연속 운전하였다.

## 결과 및 토론

전류밀도  $150\text{mA}/\text{cm}^2$ 에서 수소 및 cathode 가스의 이용율이 0.4가 되도록 반응가스를 일정량 공급하였을 경우 스택의 전류-전압 관계를 Fig. 1에 도시하였다. Cathode 가스로 33%O<sub>2</sub>/67%CO<sub>2</sub>를 사용하였을 경우 스택의 온도가 650℃에 도달하여 120시간 운전 후 측정된 개회로전압은 22.19V(1.110V/cell)이었으며,  $150\text{mA}/\text{cm}^2$ (93.8A)에서의 전압은 18.18V(0.909V/cell)로 1.70kW의 출력을 나타내었다. 한편 스택 운전이 시작된 후 220시간이 지났을 때 70%공기/30%CO<sub>2</sub>를 cathode 가스로 사용하였을 경우에는 개회로 전압이 21.16V(1.058V/cell),  $150\text{mA}/\text{cm}^2$ 에서의 전압은 16.62V(0.831V/cell)로 이때의 출력은 1.56kW 이었다. 스택의 평균 개회로전압은 같은 조건에서 수행된 단위전지 실험에서의 개회로 전압 및 Nernst 식으로 부터 구한 이론값(O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> 사용시 1.12V/cell, 공기-CO<sub>2</sub> 사용시 1.07V/cell) 보다 10mV/cell 정도 낮은 값으로 나타났다. 이 스택의 전압 손실을 요인별로 분류하면 Nernst 손실 값은 1.28V 이었고 내부 저항은 16.8mΩ으로 전류밀도  $150\text{mA}/\text{cm}^2$ (93.8A)에서의 IR 손실을 계산하면 1.57V 이다.  $150\text{mA}/\text{cm}^2$ 에서 전압 손실은 총 4.54V 였으며, 여기서 Nernst 및 IR 손실을 뺀 나머지 1.69V 가 전극 분극 손실에 해당한다. 이 결과에서 전극 분극 손실이 IR 손실보다 높은것으로 나타나 사용된 전극 일부에 문제가 있는 것으로 판단된다.

Fig. 2에는 cathode 가스 종류에 따라 단위전지 1번(아래쪽 끝단)부터 20번 까지의 각 단위전지들의 성능이 전류밀도 및 가스 이용율에 따라 나타나 있다.  $150\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 전류밀도에서 단위전지 성능 분포에 대한 표준편차는 O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>를 산화제로 사용하고 가스이용율이 0.4 일 때 42mV였으며, 공기-CO<sub>2</sub>를 산화제로 사용하고 가스이용율이 0.8일 때 58mV였다. 스택 내의 단위전지간 성능 편차는 작을수록 좋으나 절대적인 기준은 명확히 규정하기는 힘들다. IHI 에서 제시된 식에 본 스택의 규격을 대입하여 계산하면 표준편차는 10mV가 되므로, 전지 구성 요소의 두께 및 가공 분포, 스택 내의 가스 유량 및 온도 분포를 더욱 균일하게 하여 단위전지간의 성능 편차를 감소시켜야 할 것으로 생각된다.

연료이용율의 변화에 따른 단위전지별 성능변화는 cell 마다 다소 차이를 보였는데, 연료이용율에 대한 전지의 전압강하가 크게 일어나는 이유로는 anode 가스 분배가 나쁠 경우와, anode 자체에 문제가 있는 경우로 나눌 수 있으며, 이용율과 유량 분포 및 anode 성능에 관한 체계적인 연구를 통하여 성능 분포를 향상 시킬 필요가 있다. 한편 산화제 이용율에 대한 스택 성능 변화율은 anode에 비해 매우 작았지만 -0.67V/% 로 이전 스택 실험에서 보다 큰 값을 나타내어

cathode 가스 channel 에서의 가스분배 및 cathode 자체에도 개선의 여지가 있다고 판단된다.

Anode 가스중 수소의 농도를 증가시키면 스택의 성능은 증가하였으며, cathode 조성을 변화시킬 경우  $P_{CO_2}/P_{O_2}=2$  인 조건에서 평형 포텐셜은 최대이나 본 스택의 경우는  $P_{CO_2}/P_{O_2}=1$  일때 즉, 평형몰비보다 산소의 농도가 커질때 성능이 높은 것으로 보아 본 스택은 cathode에서의 물질 전달 저항이 크다는 사실을 알 수 있다. 한편 cathode 가스를  $CO_2/O_2=67/33$  에서  $CO_2/air=30/70$  으로 전환할 때,  $150mA/cm^2$  에서  $P_{CO_2}/P_{O_2}=2$  의 상태를 유지하며 질소를 첨가할 경우에는 스택 성능이 계속 감소하여 1.35V(68mV/cell)의 전압손실이 발생하였다. 실험 전후 개회로 전압의 차이는 1.03V(52mV/cell) 로 측정되어, 나머지 손실 0.32V(16mV/cell) 은 질소 첨가로 인한 cathode의 농도 분극에 기인하는 것으로 생각된다.

**참고문헌**

1. Appleby,A.J. and Foulkes,F.R.: "Fuel Cell Handbook", Van Nostrand Reinhold, New York(1989).
2. Kinoshita,k.,McLarnon,R.F. and Calins,E.J.:"Fuel Cells A Handbook", U.S.DOE, DOE/METC(1988).
3. 홍성안, 오인환, 임태훈, 남석우:"2kW급 용융탄산염 연료전지 스택 개발",한전 보고서(1995).

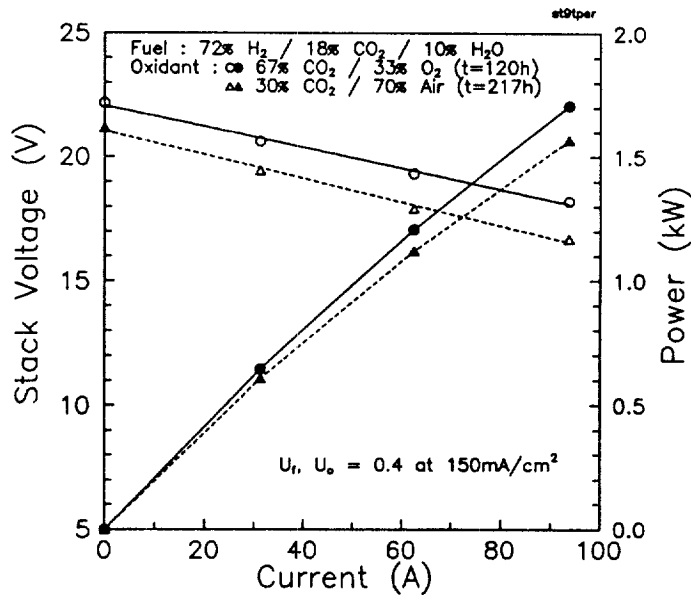


Fig. 1. Performance of 1.5kW class MCFC stack

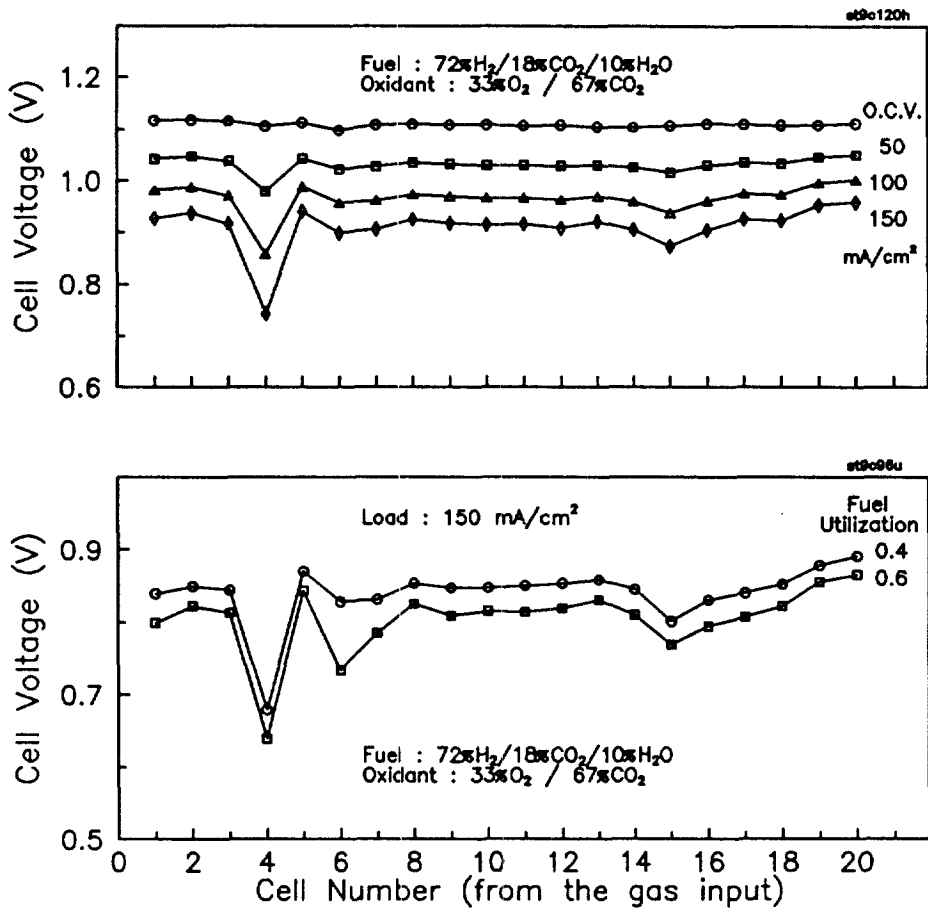


Fig. 2. Distribution of cell voltages