

1kW급 고체산화물 연료전지 발전시스템 자열운전

*이 태희¹⁾, 최 진혁¹⁾, 박 태성¹⁾, 유 영성¹⁾

Self-sustainable Operation of a 1kW class SOFC System

*Taehee Lee, Jin Hyeok Choi, Tae-Sung Park, Young-Sung Yoo

Key words : SOFC(고체산화물 연료전지), Co-generation(열병합발전), Self-sustainable operation(자열 운전), BOPs(시스템 주변장치), Residential power generation system(가정용 발전시스템)

Abstract : KEPRI has studied planar type SOFC stacks using anode-supported single cells and kW class co-generation systems for residential power generation. A 1kW class SOFC system consisted of a hot box part, a cold BOP part and a water reservoir. A hot box part contains a SOFC stack made up of 48 single cells and ferritic stainless steel interconnectors, a fuel reformer, a catalytic combustor and heat exchangers. Thermal management and insulation system were especially designed for self-sustainable operation. A cold BOP part was composed of blowers, pumps, a water trap and system control units. When a 1kW class SOFC system was operated at 750°C with hydrogen after pre-treatment process, the stack power was 1.2kW at 30 A and 1.6kW at 50A. Turning off an electric furnace, the SOFC system was operated using hydrogen and city gas without any external heat source. Under self-sustainable operation conditions, the stack power was about 1.3kW with hydrogen and 1.2kW with city gas respectively. The system also recuperated heat of about 1.1kW by making hot water.

1. 서론

연료전지는 연료의 전기화학적 산화반응을 통해 연료의 화학에너지를 전기에너지로 직접 전환시키는 에너지 변환장치로서, 전지와 달리 연료의 공급에 의해 연속적인 발전이 가능하며, 기존의 발전장치들과 비교할 때 이론적으로 높은 발전효율을 얻을 수 있다. 또한 모듈화가 용이하여 다양한 용량을 얻을 수 있으며, 수소를 연료로 사용할 경우 물 이외의 오염물질을 배출하지 않는 환경 친화적인 발전방식이다. 연료전지는 구성 소재에 따라 운전조건과 특성이 달라지는데, 특히 사용되는 전해질에 따라 알칼리형(AFC, alkaline fuel cell), 인산형(PAFC, phosphoric acid fuel cell), 고분자형(PEMFC, polymer electrolyte membrane fuel cell), 용융탄산염형(MCFC, molten carbonate fuel cell), 고체산화물형 연료전지(SOFC, solid oxide fuel cell) 등으로 나눌 수 있다.^(1,2) 이 가운데 제 3세대 연료전지라 불리는 SOFC는 셀을 구성하는 기본요소인 전해질 및 전극이 모두 세라믹으로 구성되어 있으며, 작동온도(500-1000°C)가 높아 상대적으로

고효율의 특징과 배기가스의 배열을 이용할 수 있는 장점이 있다. 특히 고온 작동으로 인해 수소뿐만 아니라 일산화탄소, 메탄, 가솔린, 디젤 등 다양한 연료의 사용이 가능하며, 비귀금속계의 전극을 이용하므로 SOFC를 이용한 발전시스템이 기존의 발전소와 지역난방 시스템을 대체할 수 있을 것으로 전망되고 있다.^(3,4)

한전 전력연구원에서는 평판형의 연료극 지지체식 SOFC 스택과 이를 이용하여 전력과 온수를 동시에 생산할 수 있는 가정용(RPG, Residential Power Generation) 및 상업용(CPG, Commercial Power Generation) 열병합 발전시스템 개발을 목표로 하고 있다. SOFC 발전시스템은 전기를 생산하는 연료전지 스택(모듈) 외에도 연료를 스택에서 사용할 수 있도록 수소가 다량 함유된 가스로 변환시키는 연료개질기와 생산된 직류전기를 교류전기로 변환시키고 전압을 조절해 주는 전력변환장치, 반응물 공급을 위한 송풍기와 펌프, 열

1) 한국전력공사 전력연구원
E-mail : thlee@kepri.re.kr
Tel : (042)865-7557 Fax : (042)865-7569

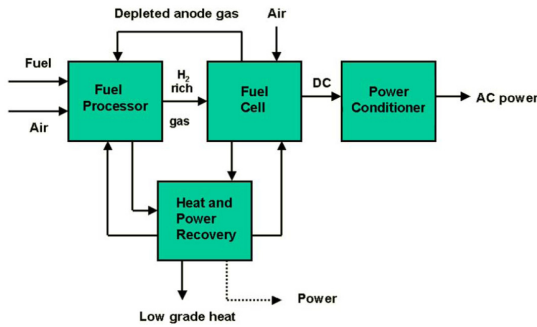


Fig. 1 Schematic of fuel cell system⁽⁵⁾

회수 시스템, 제어시스템 등의 BOP 등으로 구성 되어 있다. (Fig. 1의 연료전지 시스템 개략도 참조) SOFC 발전시스템의 효율을 향상시키기 위해서는 스택을 비롯한 연료개질기, 전력변환기 등의 시스템 구성요소의 성능개선뿐만 아니라 단열 및 열관리 시스템 설계가 매우 중요하다. 특히 효율적인 열관리를 통해 외부의 열원 없이 SOFC 시스템 내부에서 생성되는 열을 이용하여 스택온도 유지, 반응물 예열, 개질반응에 필요한 수증기 생성 등이 가능하도록 시스템을 설계해야 한다.

본 논문에서는 현재 한전 전력연구원에서 가정용으로 개발 중인 1kW급 SOFC 시스템의 수소 및 도시가스 자율운전한 결과를 논하고자 한다.

2. SOFC 시스템 구성

2.1 SOFC 단전지 및 스택

연료극(anode) 재료는 NiO(Alfa사, 99.9%)와 8mol% YSZ(Tosho사, TZ-8YSZ) 분말을 출발물질로 사용하였다. 연료극 제조를 위하여 전처리를 한 NiO와 8YSZ 분말을 6:4의 비율로 칭량한 후, 유기 binder와 ethyl alcohol 등과 혼합하여 24시간 습식 불밀을 하였다. 이때, 소결체의 기공 형성을 위하여 graphite를 첨가하였다. 혼합된 slurry는 oven에서 건조한 후, 일축가압 방법으로 성형하고 1400℃에서 1시간 동안 열처리를 하여 지지체를 제조하였다. 가소결된 지지체 위에 FL(functional layer)과 YSZ(yttria-stabilized zirconia)의 전해질을 슬러리 코팅방법으로 올린 후, 최종 소결하였다. 공기극 물질은 LSCF($(La_{0.6}Sr_{0.4})(Co_{0.2}Fe_{0.8})O_3$)를 전해질이 코팅된 시편에 스크린 프린팅 한 후, 열처리를 하여 연료극 지지체형 셀을 제조하였다. Fig.2는 연료극 지지체형 셀들의 사진이다.

1kW급 스택은 10cm × 10cm 크기의 셀 48 장과 ferritic 계의 STS 분리판 및 유리계의 고온 밀봉

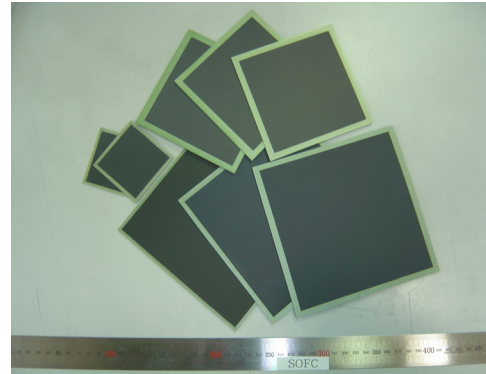


Fig. 2 Anode-supported cells

제 이용하여 제작되었다. 기존의 1kW급 스택과 비교하여 새로이 개발된 스택은 새로운 조성의 밀봉제를 적용하고 매니폴드 구조를 개선하여 밀봉률을 80-90% 수준으로 향상시켰다.

2.2 Hot Box

Fig. 3은 1kW급 SOFC 시스템의 외형을 보여주고 있다. 원통형의 hot box 내부에는 SOFC 시스템 구성품 중에서 작동온도가 높은 스택, 연료개질기, 촉매연소기, 열교환기 등이 위치하고 있다.

스택 운전 시 발생하는 반응열과 미반응 가스를 연소시켜 얻은 열을 이용하여 스택의 온도 유지, 반응물의 예열 및 연료 개질기에 필요한 열량을 공급해야 한다. 본 시스템에서는 도시가스와 LPG를 연료로 사용하므로 pre-reformer를 장착하여 C2 이상의 탄화수소를 메탄 및 수소로 전환하고 SOFC 스택 내부에서 내부개질반응에 의해 전력을 생산하도록 설계하였다. Pre-reformer의 입구 및 출구에는 연료의 예열을 위한 열교환기가 설치되었다.

스택 미반은 연료는 hot box 내부에 있는 촉매연소기에서 공기극 배출가스와 연소반응이 이루어진다. 촉매연소기에서 생성된 열을 이용하여 개질기에 공급되는 수증기를 만들고, 스택에 공



Fig. 3 1kW class SOFC system

급되는 공기와 연료를 예열할 수 있도록 열교환기를 설치하였다. 연료예열기를 지난 연소 가스는 물과 열교환을 하여 온수를 만든 후 50℃ 이하로 냉각되어 배출된다.

2.3 Cold BOP

Hot box 아래에 위치한 cold BOP 부분은 공기 블로워, 물 펌프 등 반응물 공급 장치와 배출가스에서 물을 회수하여 다시 개질 반응에 사용하기 위한 기액분리기 및 이온수지 충전탑, 데이터 수집을 위한 각종 보등 등이 위치하고 있다. Fig. 3의 좌측에 보이는 것은 시스템 제어 및 모니터링을 위한 PC와 전자부하장치, 전력변환기 등이 장착된 부분이다.

3. SOFC 시스템 운전 및 결과

3.1 750℃ 수소운전

SOFC 시스템의 전처리가 끝난 후, 자열운전에 앞서 수소를 이용하여 스택 및 시스템의 성능시험을 수행하였다. 이때, 연료극에는 수소 19.2 l/min과 함께 질소 9.6 l/min을 공급하였으며, 공기극에는 86.4 l/min 유량으로 공기를 공급하였고 전기로의 온도는 750℃로 설정하였다.

Fig. 4는 위와 같은 조건에서 스택의 출력성을 보여주고 있다. 스택의 OCV는 52.9V로 셀당 약 1.1V(48 셀)가 나왔으며, 30A에서 40.75V, 1.22kW의 출력을 보였고, 50A에서는 32.15V, 1.61kW의 출력을 얻을 수 있었다.

3.2 수소 자열운전

전기로를 이용하여 750℃에서 수소를 이용한 스택성능 시험을 끝낸 후 수소를 이용한 자열운전 시험을 수행하였다. 연료이용률과 스택출력, 촉매연소기 및 스택 온도 등을 고려하여 최적의 자열운전 조건을 선정하였다.

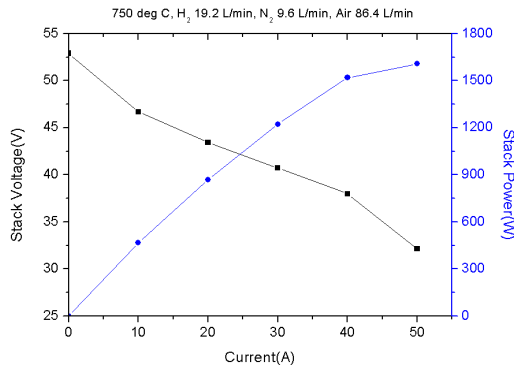


Fig. 4 Stack(48 cells) I-V-P characteristic curve, 750℃, H₂ 19.2 l/min, N₂ 9.6 l/min, air 86.4 l/min

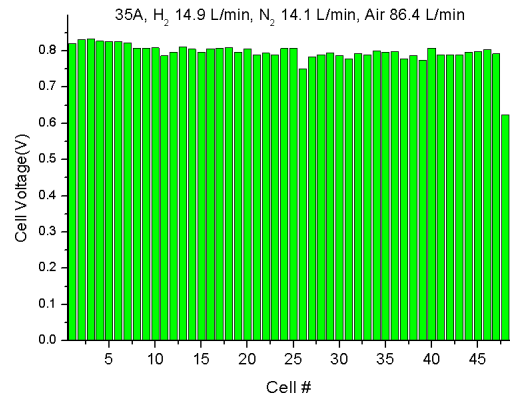


Fig. 5 Voltage distribution of cells under a self-sustainable operation condition using hydrogen

자열운전 조건은 연료극에 수소 14.9 l/min, 질소 14.1 l/min을 공급하고, 공기극에는 86.4 l/min의 공기를 공급하였다. 이 때, 스택은 35A에서 1.31~1.35kW의 출력을 나타내었으며 스택 상판의 온도는 720~740℃, 스택 하판은 710~725℃ 정도를 유지하였다. Fig. 5는 이때 스택 내 각 셀들의 전압 분포를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 가장 위쪽의 셀을 제외하고는 비교적 균일한 셀 전압을 보여주는 것을 확인할 수 있다. 배기가스의 폐열을 회수하기 위해 온수제조를 하였으며 최종적으로 배출되는 배기가스의 온도는 50℃ 미만이 되었으며, 이때 1.1kW 이상의 열량을 회수할 수 있었다.

3.2 도시가스 자열운전

수소를 이용한 자열운전을 끝낸 후, 도시가스로 시스템 자열운전을 수행하였다. 앞서 수소로 자열운전한 결과를 바탕으로 하여 도시가스는 5.12 l/min, 개질기에 공급되는 물은 13.2 g/min 으로 공급하였고, 공기극에는 95 l/min 공기를 공급하였다.

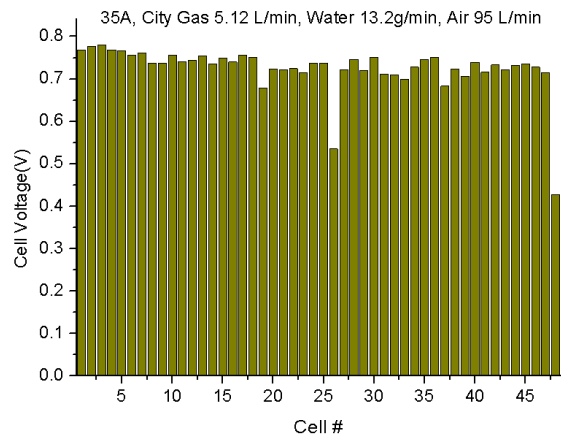


Fig. 6 Voltage distribution of cells under a self-sustainable operation condition using city gas

운전결과 35A에서 1.21~1.25 kW의 스택 출력을 얻을 수 있었다. Fig 6은 이때 스택 내 각 셀들의 전압분포를 보여주고 있다. 앞서 수소운전결과와 비교할 때, 스택 출력이 낮은 것을 확인할 수 있다. 이는 pre-reformer와 스택내부의 개질반응과 물 예열 및 기화열로 인해 hot box 내부의 발열량 감소로 스택의 온도가 낮아졌기 때문인 것으로 추측된다.

4. 결론

전력연구원에서는 10 × 10 cm² 크기의 셀 48장과 STS계의 분리판을 이용하여 1kW급 SOFC 스택을 제작하였다. 또한 새로이 열교환기와 열관리 시스템을 제작하여 수소 및 도시가스로 외부의 열원 없이 자열운전에 성공하였다.

후기

본 연구는 지식경제부 에너지관리공단 신재생에너지 기술개발사업(2006-N-FC12-P-04)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Ryan O'Hayre, Suk-Won Cha, Whitney Colella and Fritz B.Prinz, 2006, "FUEL CELL FUNDAMENTALS", John Wiley & Sons, New York, pp.3-19.
- [2] James Larminie and Andrew Dicks, 2003, "Fuel Cell Systems Explained" 2nd Edition, John Willey & Sons, UK, pp.3-24.
- [3] B.C.H.Steel and A.Heinzel, 2001, "Materials for Fuel Cell Technology", Nature, 414[15], pp.345-352.
- [4] O.Yamamoto, 2000, "Solid Oxide Fuel Cells : Fundamental Aspects and Prospects", Electrochemical Acta, 45, pp.2423-2435.
- [5] P.F.van den Oosterkamp, 2006, "Critical issues in heat transfer for fuel cell systems", Energy Conversion and Management, 47, pp.3552-3561.