

가압형 500W급 SOFC 스택의 운전 특성

Operation Characteristics of the pressurized 500W class SOFC stack

임탁형, 송락현, 백동현, 신동열, I.C.Vinke*

한국에너지기술연구원 수소연료전지부 신연료전지연구센터

* 독일 울리히연구소 IWV-3 (Energy Process Engineering)

1. 서 론

고체산화물 연료전지(Solid oxide fuel cell : SOFC)는 연료기체가 소유하고 있는 화학에너지를 전기화학반응에 의해 직접 전기에너지로 변화시키는 에너지 변환 장치이다. 고체산화물 연료전지의 특성은 고분자 및 인산형 연료전지 등 다른 연료전지에 비해 효율이 높고 공해가 적으며, 다양한 종류의 연료를 사용할 수 있고, 연료전지-마이크로가스터빈 하이브리드 복합발전이 가능하다는 장점을 갖고 있다 [1].

현재 전 세계적으로 연료전지-가스터빈 하이브리드 시스템을 제작하고 운전한 회사는 미국의 지멘스 웨스팅하우스로서 220 kW급 혼합시스템 (연료전지 200 kW급-마이크로가스터빈 20 kW급)을 3기압에서 성공적으로 운전하여 전기발생효율을 53% 달성했다. 또한, Fuel Cell Energy 사에서도 상압형으로 유사한 하이브리드 시스템을 제작해 운전한 경험을 보유하고 있다. 그리고 일본의 경우 혼합발전 시스템을 위해 미츠비세 중공업에서 가압형 SOFC 를 개발했으며, 유럽은 롤스로이스와 울리히 연구소가 주축이 되어 대용량 SOFC 스택 개발을 추진 중에 있다. 그런데 핵심적인 개발 이슈는 현재 주로 상압형으로 개발되고 있는 SOFC 스택의 효율적인 가압운전 방법과 가스터빈과의 연계 방안 등이 중점적으로 연구되고 있다.

본 연구의 목적은 주로 상압형으로 개발된 SOFC 스택에 대한 가압운전 기술을 개발하며, 가압운전에 요구되는 시스템의 설계 및 제작기술을 확보하는데 있다. 또한, 가압운전을 수행할 경우 상압운전에서는 발생되지 않는 다양한 문제점들을 파악하고, 이를 바탕으로 상압형 및 가압형 스택의 차이점과 스택 설계상의 개선점을 도출하고자 한다. 따라서 이러한 목적을 위해 본 연구에서는 가압형 SOFC 스택 시스템에 대한 구성과 설계, 그리고 독일 울리히 연구소에서 도입된 500W 급 SOFC 스택의 상압 및 가압운전을 통해 증가된 성능을 확인했는데, 이러한 가압운전 기술 및 실험 결과들을 통해 연료전지-가스터빈 하이브리드 발전시스템 개발의 기본 자료로 활용할 예정이다.

2. 실험방법

500W급 SOFC 스택 시스템의 기본 구성성분은 5kW급 스택 운전 시스템과 동일한 것으로 반응기체 공급 시스템, 공기극, 연료극 예열기, 스택 가열용 로, mechanical loading system, 연료 주입용 스팀 발생기, 가압 챔버, 공기극과 연료극 전 후단 차압계, 공기극-챔버와 연료극 챔버 차압계, 차압 조절용 water head (seal pot), 연료극과 공기극 후단의 냉각기, 연료극/공기극/챔버 정밀 밸브시스템 등으로 구성돼 있다 [그림 1].

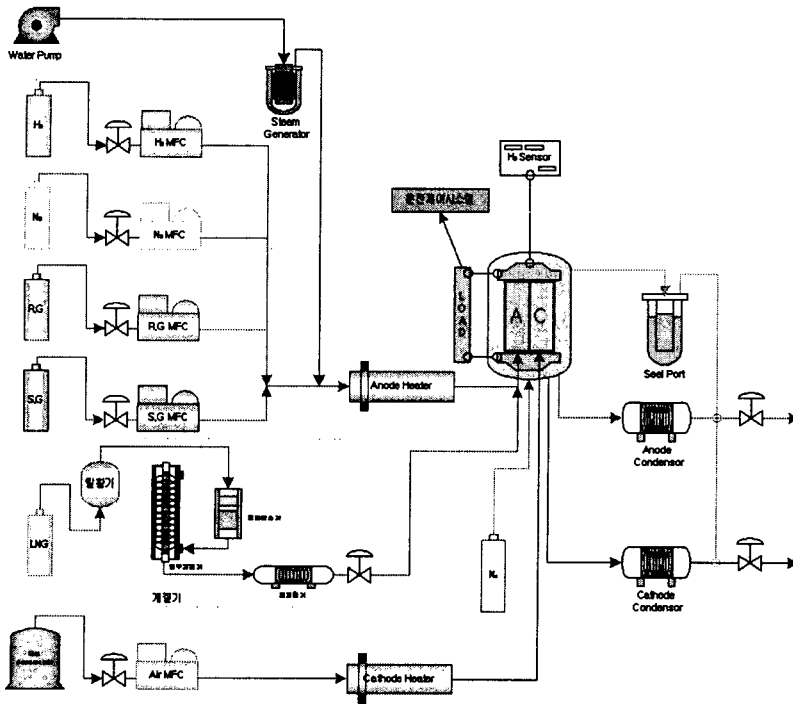


그림 1. 가압형 5 kW급 SOFC 발전시스템

2.1 스택 가열용 로 (furnace)

SOFC 스택의 최초 가열, 환원, 운전 시에 사용되는 로는 전통적인 후드형태로서 최대상승 온도는 1280 °C, 사용전력은 32 kW이다. 가열은 후드의 4 벽 열선을 통해 이뤄지며, 후드 자체는 호이스트를 이용해서 탈/부착이 이뤄진다. 로 내부는 스택이 존재해야 하기 때문에, 600*700 mm의 면적이 확보되어야 하며, 후드 내의 평균 높이는 벽면에서 1050 mm, 중앙에서 1130 mm 이다. 스택 적층을 위한 높이는 65 cm 정도이며, 로 내부 아래 부분에 사용되는 벽돌은 refractory clay 로 만들어진 벽돌로서 반응기체의 입/출구와 다양한 부분들이 관통하게 된다.

2.2 mechanical loading system

스택에 다양한 mechanical 로드를 주기 위해 자동 무게 조절 로드 셀이 이용됐으며, mechanical load 는 다양하게 변화될 수 있다. 스택이 조립된 후 일반적으로 100 kg 의 로드가 스택에 주어지며, 바람직한 실링 온도로 가열되는 동안 일정하게 유지된다. 실링 온도에 도달한 후 1 시간 정도 지나면, 무게는 500 kg 으로 증가되며, 그 이후에는 일정하게 무게가 유지된다. 20*20 cm² 셀이 장착된 스택의 경우 약 200 kg 의 최소 로드가 필요하다. mechanical loading system 대부분은 Inconel 로 만들어졌으며, 스택과 무게 지레 시스템 사이의 전기적인 절연을 위해서 알루미나로 만들어진 round alumina disc 가 사용된다.

2.3 Gas 공급 설비

스택은 로 내부에서 adapter plate 사이에 위치하게 되는데, 이 부분에서 기체 공급 설비가 연결된다. adapter plate는 DIN 1.4742 합금으로 만들어졌으며, 스택과 바닥 판은 유리-세라믹 밀봉재를 이용해 실링이 이뤄졌고, 스택 바닥 판과 adapter plate 는 mica 로 실링이 이뤄졌다. adapter plate 는 기체공급 설비와 스택을 연결해주며, 2개의 연료 주입구와 1개의 공기 배출구, 2개의 공기 주입구와 1개의 연료 배출구로 구성돼 있다. 연료/공기 흐름은 스택 내에서 counter flow 를 갖는다. SOFC 시험 설비들은 공기 극에서 산화제로서 공기를 이용하며, 연료극에서 연료기체로서 수소 및 개질가스를 이용한다. 수소의 가습화는 계회로전압 (OCV)을 고정 [2]하기 위해 필요한데, 연료극에 약 3-10%(부피) 정도 주입되어야 한다. 질소 바탕에 4-5% 의 H₂ 는 가열/냉각 사이클 도중 연료극이 재산화되는 것을 방지하기 위해 연료전지 연료극에 퍼지 가스 [3]로서 사용되며, emergency 시에도 사용될 수 있다. 연료 및 공기유량은 MFC (mass flow controller)로 조절되는데 최초가열, 환원, 운전, 냉각, 비상상황 [4]등에 이용될 수 있는 범위로 조절된다. 연료 및 공기는 스택에 공급되기 전에 예열기로 가열되며, 연료에 수분을 공급하기 위해 steam generator 시스템이 부착되어서 3-10 %의 수분을 공급한다. 스택으로부터 배출되는 연료 및 공기 라인은 응축기로 냉각된 후 배출구로 배출된다. 동시에 응축된 물은 기체 흐름으로부터 분리되어 자동 조절 밸브를 통해 drain line 으로 배출된다.

2.4 계장 (Instrumentation)

selected interconnect plate 에 thermocouple (지름: 1mm)이 삽입되고, 온도가 측정되며, 스택 내의 온도 분포는 모든 2 방향에서 측정된다. 전압 백금 선은 spot-welding 되며, current rod (지름이 10 mm)는 볼트 및 너트를 이용해서 스택의 맨 위 및 아래 판에 고정된다 [5]. thermocouple, 전압 리드, 압력 측정기로부터의 모든 결과들은 DAQ (NI: Labview) 시스템에 연속적으로 모니터링 되며, 분석을 위해 컴퓨터 하드디스크에 저장된다.

3. 연구결과 및 고찰

독일 울리히 연구소에 도입된 SOFC 스택은 연료극지지체 평판형으로서 20*20cm² 5 장의 500W급 SOFC 스택이 운전조건 평가를 위해 사용됐다. 일단 상압에서 성능 분석을 위한 I-V 수행성 곡선 [그림 2]이 측정됐는데, 실험조건은 스택 내부의 온도, H₂ 유량, 공기 유량, active area 는 800 °C, 18 l/min, 60 l/min, 361 cm² 이었다. 5셀 전부 고르며, 우수한 성능을 나타냈는데, 총 650 W 의 출력을 얻어낼 수 있었다.

또한, 상압형 500W급 개질기를 연계함으로써 얻어지는 SOFC 스택의 I-V 커브 결과를 분석했으며, 연료 및 공기의 이용율에 따른 스택 성능 확인과 상압, 1기압, 1.5 기압, 2 기압까지 운전 압력을 증가시켜 SOFC 스택의 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다. 또한, 2 기압까지 운전압력을 증가시켜도 상압형으로 개발된 독일 울리히 SOFC 스택에 큰 성능 감소가 발생하지 않음을 확인할 수 있었다.

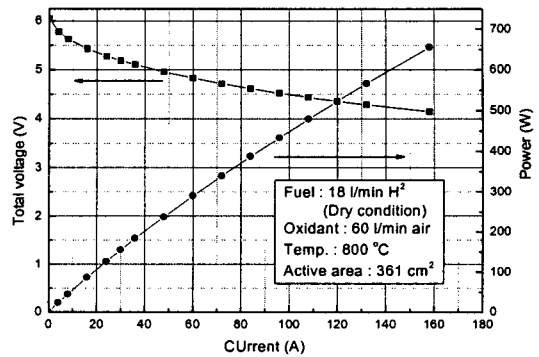
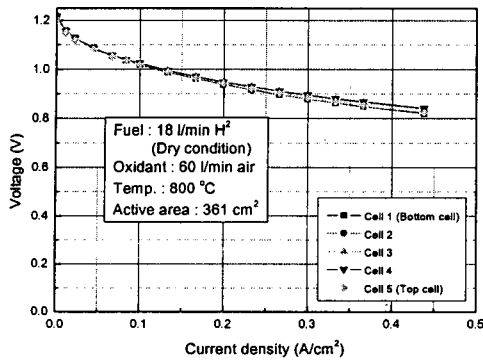


그림 2. 500W급 SOFC 스택의 상압 수소 운전결과

4. 결론

독일에서 도입된 SOFC 스택에 사용되는 셀은 상압형 운전 조건의 경우 매우 안정된 성능특성을 나타냈으며, 개질기 연계 운전 시에도 안정적인 성능을 나타냈다. 또한, 상압형 SOFC 스택 시스템에 바탕을 둔 가압형 시스템에 대한 전반적인 조업기술을 획득할 수 있었으며, 현재, 이를 바탕으로 한 연료전지-가스터빈 하이브리드 발전 시스템에 대한 상세 설계 및 제작이 진행 중에 있다.

5. 참고문헌

- [1] N. Q. Minh, and Takehiko, *Science and Technology of Ceramic Fuel Cell*, Elsevier Science(1995).
- [2] Y. Du, N.M. Sammes, *J. Power Source*. **136**, 66-71(2004).
- [3] T. Iwata, *J. Electrochem. Soc.* **143**[5], 1521-1525(1996).
- [4] R. N. Basu, G. Blass, H.P. Buchkremer, D. Stover, F. Tietz and I.C. Vinke, *J. Euro. Cera. Soc.* **25**, 463-471(2005).
- [5] T. C. Hsiao. and J. R. Selman, *Solid State Ionics*, **98**, 38-38(1997).